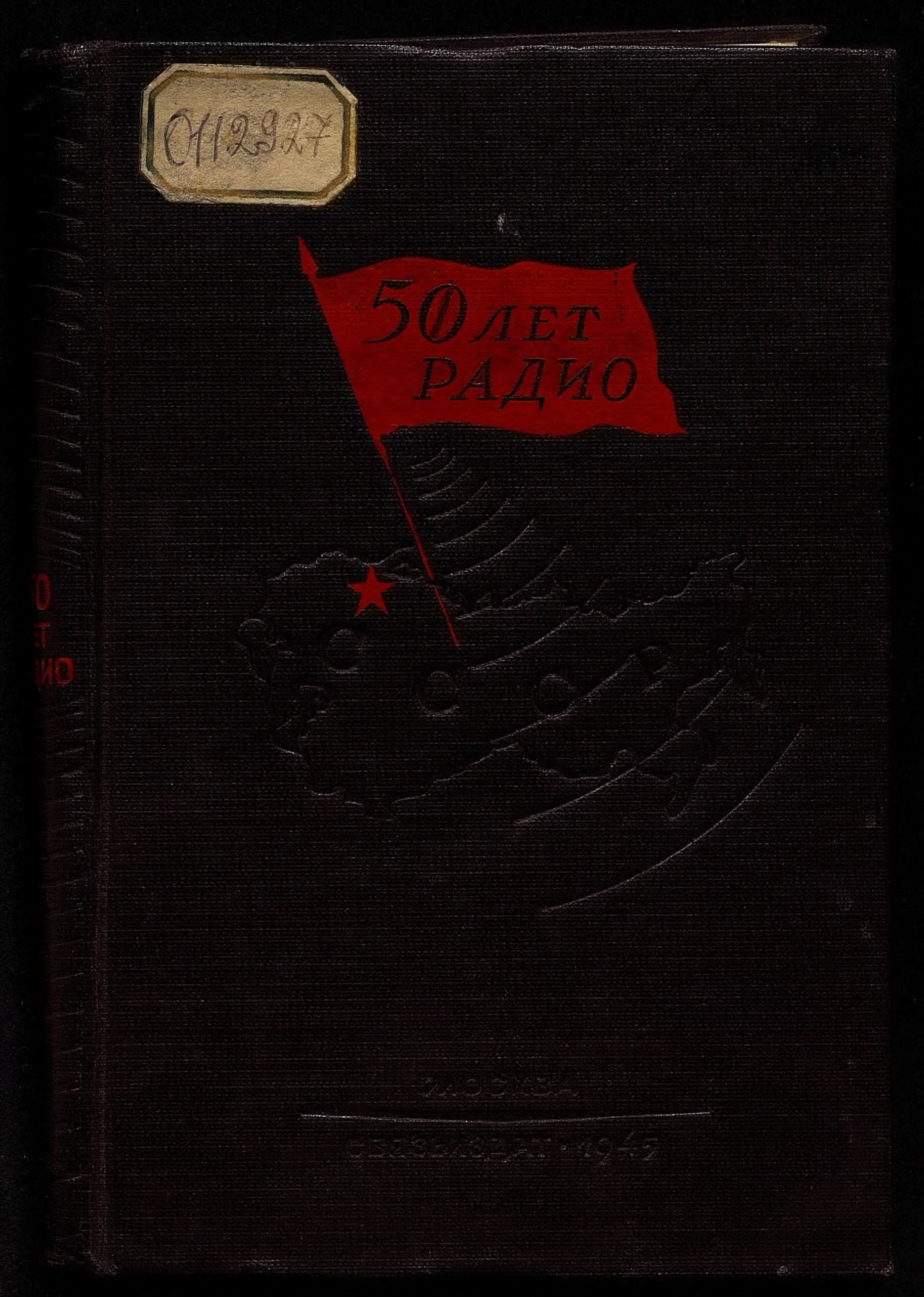

0112927
50 ЛЕТ
РАДИО
МОСКВА
СВЯЗЬИЗДАТ 1945

теплопроизводительности нефть является наиболее концентрированным топливом, а следовательно экономичным и не занимающим много места; особенно это важно для судов, так как они с переходом на нефтяное топливо могли увеличить свой полезный тоннаж.

Выпускать на рынок сырую нефть в качестве топлива все же не выгодно; нефть, будучи переработана на заводах, дает много разнообразных продуктов, имеющих очень широкое применение и бо́льшую ценность, чем сама нефть.

Переработка нефти ведется на нефтеперегонных



Товарищ И. В. Сталин выступает с докладом на торжественном заседании Московского Совета депутатов трудящихся с партийными и общественными организациями г. Москвы 6 ноября 1944 г.

50 ЛЕТ РАДИО

научно-технический сборник

Под редакцией
А. Д. Фортушенко



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛИТЕРАТУРЫ
ПО ВОПРОСАМ СВЯЗИ И РАДИО
МОСКВА 1945

ПРЕДИСЛОВИЕ

Знаменательную дату 50-летнего юбилея со дня изобретения радио русским учёным А. С. Поповым наша страна отмечает в обстановке исторических побед героической Красной Армии над немецко-фашистскими захватчиками.

Славный путь прошло радио за эти полвека. Советская страна, благодаря исключительному вниманию к радио Ленина и Сталина, сделала его близким и родным для всего советского народа и подняла на небывалую высоту его общегосударственное значение.

«Социализм без почты, телеграфа, машин — пустейшая фраза» — говорил великий создатель социалистического государства В. И. Ленин, подчёркивая, таким образом, исключительное значение всех видов связи.

Радио является наиболее новым и современным средством связи. Говоря о радио, Ленин в письме на имя руководителя Нижегородской радиолаборатории Наркомпочтеля М. А. Бонч-Бруевича от 5/II 1920 г. писал:

«Газета без бумаги и «без расстояний», которую Вы создаёте, будет великим делом».

И Ленин внимательно следил за работой этой радиолаборатории, за строительством радиостанций, оказывая им всемерную поддержку и помощь.

Наш вождь и учитель товарищ Сталин всегда придавал огромное значение радио. Сталинские пятилетки обеспечили расцвет промышленности, как базы для мощного радиостроительства. К началу второй мировой войны по суммарной мощности радиостанций Советский Союз занимал первое место в Европе.

О величайшем внимании товарища Сталина к делу развития связи и в особенности радио говорит хотя бы

факт создания в СССР за первые два года Великой Отечественной войны самой современной и самой мощной в мире радиостанции, сооружённой по указанию И. В. Сталина.

Мы гордимся тем, что радио — это величайшее достижение человечества — родилось в нашей стране и получило гигантское развитие благодаря повседневным и неустанным заботам большевистской партии и Советского правительства.

Радиотехника оказалась одной из самых прогрессивных отраслей техники. Чрезвычайно сложным и интересным был путь её развития.

От ультракоротких волн, с которыми начинал свои физические опыты Герц и на которых осуществил первую радиосвязь А. С. Попов, через длинные волны к коротким волнам, которые с 1924 г. становятся основным средством дальней радиосвязи и, наконец, снова к ультракоротким волнам на новой технической основе, мало похожей на технику Герца — такова диалектика развития радиосвязи в отношении используемых рабочих частот. Это развитие теснейшим образом связано с совершенствованием наших познаний о законах распространения электромагнитных волн.

Аппаратура радиосвязи также прошла через несколько этапов. Искровой передатчик с затухающими колебаниями заменяется сначала такими источниками незатухающих колебаний, как дуга и машина высокой частоты, а затем ламповыми передатчиками, коренным образом изменившими радиотехнику.

Радиоприёмник от «грозоотметчика» Попова через кристаллический детектор с ламповым усилителем прошёл путь до современных сверхчувствительных супергетеродинных радиоприёмников.

От первых антенн Попова в виде вертикального провода антенны эволюционизировали до сооружений, дающих концентрацию излучаемой электромагнитной энергии, эквивалентную увеличению мощности передатчика в сотни раз.

От первых радиотелеграфных передач Попова с аппаратом Морзе техника радиосвязи пришла к современным многократным буквопечатающим системам и фототелеграфной передаче.

Наконец, открываются ближайшие перспективы широчайшего развития радиотелевидения.

Таковы замечательные этапы прогресса радио за 50 лет.

Радиосвязь имела своё начало во флоте, для которого она продолжает играть исключительную роль, как единственное средство связи. Ещё большее значение приобрело радио для авиации и как средство связи и как средство навигации.

Исключительно велика роль радио в современной маневренной войне с огромными массами танков, авиации и различных других родов оружия. Радио в современной войне служит уже не только для связи. Оно даёт, например, такое могущественное средство для борьбы с налётами авиации, как радиолокацию.

Радио было изобретено, как средство беспроводной связи, но далее радиотехника дала толчок новым методам высокочастотной проводной связи. Техника современной связи как проводной, так и беспроводной в своих основах становится единой. Новое подтверждение этому мы можем видеть в трансляционном методе построения дальних радиолиний на ультракоротких волнах.

В противоположность капиталистическим странам, где до сих пор имеет место конкуренция между радио и проволокой, вернее между фирмами, имеющими монополию на то или другое, в нашей стране социалистического хозяйства радио и проволока используются комбинированно, как дополнение одно к другому.

Методы радиотехники находят всё большее применение далеко за пределами связи — в промышленности, науке, медицине и т. д. Достаточно указать на такое применение, как закалка стали токами высокой частоты, радиотерапия и т. д.

Радио родилось в нашей стране 50 лет назад, и русские учёные и инженеры, начиная от изобретателя радио А. С. Попова, всегда играли выдающуюся роль во всей богатой истории радиотехники.

Настоящий сборник, дающий краткий обзор истории развития радио и роли русских людей в этой истории, а также освещающий современное состояние радиотехники, безусловно будет встречен с большим интересом,

Перед огромной армией работников радио, воспитанных партией Ленина—Сталина, в частности, перед кадрами радиоспециалистов, работающих в системе Наркомсвязи и в электропромышленности, стоит почётная и благородная задача непрерывно двигать вперёд дело развития радио, всемерно улучшать свою работу и высоко держать в нашей стране знамя приоритета не только в изобретении радио, но и в дальнейших научно-технических достижениях.

Народный комиссар связи
Союза ССР К. СЕРГЕЙЧУК

Акад. Б. А. ВВЕДЕНСКИЙ

Канд. техн. наук А. Д. ФОРТУШЕНКО

А. С. ПОПОВ—ИЗОБРЕТАТЕЛЬ РАДИО

Изобретению радио, как средства беспроводной связи, русским учёным А. С. Поповым предшествовал длинный ряд открытий в области электричества и магнитизма, уже приведших, в частности, к изобретению и внедрению проводной электросвязи.

Здесь особенно уместно вспомнить слова великого мыслителя К. Маркса: «Всеобщим трудом является всякий научный труд, всякое открытие, всякое изобретение. Он обусловливается частью кооперацией современников, частью использованием труда предшественников». (К. Маркс, Ф. Энгельс «Сочинения», т. XIX, ч. I, стр. 109, 1939 г.).

После открытия в конце XVIII века законов взаимодействия электрических зарядов Кулоном и гальванизма — Гальвани и Вольта, после установления Эрстедом в 1820 г. связи между электрическими и магнитными явлениями, в 1837 г. появился электромагнитный телеграф американского исследователя Морзе. С 1843 г. телеграфирование по проводам начинает быстро развиваться. В период с 1857 г. по 1865 г. проводились опыты по прокладке телеграфного кабеля через Атлантический океан и с 1865 года подводные кабели связали между собой материки земного шара. К началу XX века уже насчитывалось около 9 миллионов километров телеграфных проводов.

Англичанин Фарадей своими исследованиями электрических и магнитных полей в 1831 г. открыл закон электро-

магнитной индукции, фактически заложив начало учения о беспроводном распространении электромагнитного поля в форме электромагнитных волн.

Американский учёный Генри в 1840 г. показал, что электрический искровой разряд лейденской банки имеет колебательный характер, а английский физик Томсон в 1855 г. разработал колебательную теорию электрических разрядов.

Идеи Фарадея, эксперименты его и других учёных, в творческой теоретической переработке английского учё-

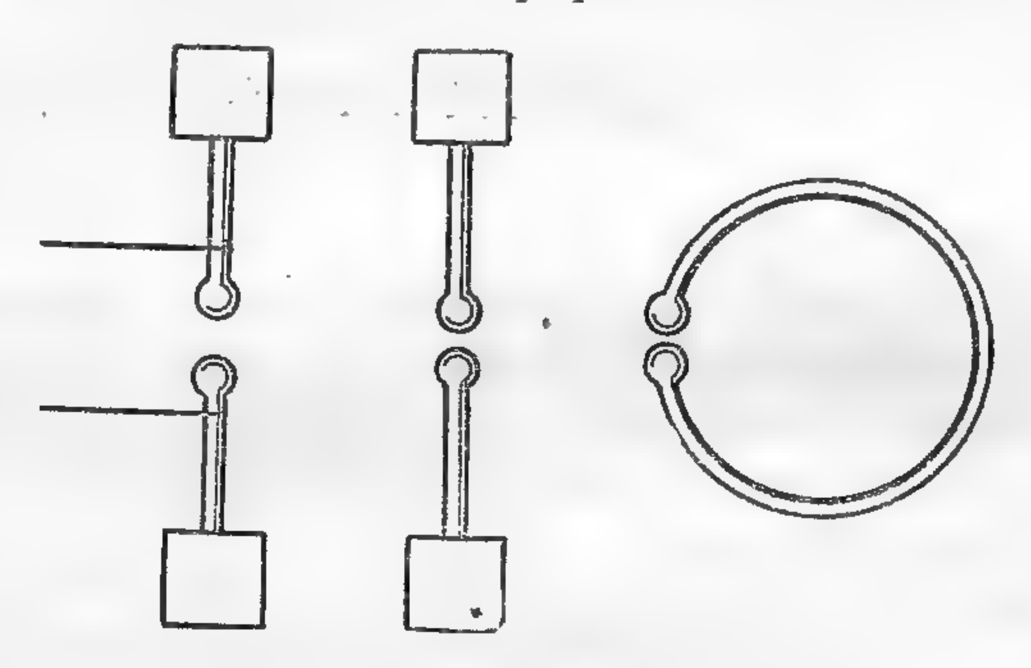


Рис. 1. Схема опытов Герца.

ного Максвелла предстали в форме стройной математической теории о волновом распространении электромагнитных процессов, к которым Максвелл гениально относил и световые волны. Это открытие Максвелл сделал в 1864 г., а его знаменитый «Трактат об электричестве и магнитизме» был опубликован в 1873 г. По Максвеллу металлический проводник, по которому течёт переменный ток, «излучает» в пространство электромагнитные волны, несущие с собой электромагнитную энергию. Эти волны распространяются со скоростью света, подчиняясь основным законам света, т. е. поглощаются и отражаются металлами — телами непрозрачными для них и хорошо пропускаются непроводниками.

В 1886—1888 гг. Герц сознательно получил электромагнитные волны и обнаружил их, доказав экспериментально правильность теоретических выводов Максвелла.

В опытах Герца (рис. 1) источник переменного тока высокого напряжения (катушка Румкорфа), соединённый

с шарами разрядника, вызывал колебательный искровой разряд. К искровому разряднику присоединялся вибратор из двух металлических прутков, размеры которых определяли период колебаний. Частота колебаний в опытах Герца была порядка 500 миллионов периодов в секунду (длина волны порядка 60 *см*). Столь высокие частоты для своих опытов Герц выбирал сознательно, стремясь возможно приблизиться к частотам световых колебаний. Это, кроме того, облегчало эксперимент, уменьшая размеры аппаратуры.

Для обнаружения электромагнитных волн, излучаемых вибратором, первоначально применялся простейший прибор «резонатор Герца», состоявший из одного витка проволоки с небольшим искровым промежутком, в котором при работе вибратора проскакивали искорки. Таким способом Герцу удавалось обнаруживать электромагнитные волны («электрические лучи») на расстоянии до 3 *м* от вибратора.

Наиболее слабым местом в схеме опытов Герца был весьма нечувствительный приёмник.

В 1890 г. французский учёный Бранли установил, что электрические разряды резко увеличивают проводимость рыхло насыпанных металлических порошков. Стеклянную трубочку, наполненную металлическими опилками с выведенными по концам контактами, Бранли назвал «радиокондуктором». Справедливость требует отметить, что ещё в 1866 г. то же наблюдение сделал Ворлей, но это прошло незамеченным.

Английский физик Лодж усовершенствовал «радиокондуктор» и к 1894 г. сконструировал так называемый «кохерер».

Так обстояло дело к моменту изобретения радиосвязи А. С. Поповым.

Александр Степанович Попов родился 4 (16) марта 1859 г. в семье священника рабочего посёлка Туринский рудник, Пермской губернии, на Урале.

Своё образование Попов начал в Далматовской духовной школе, затем учился в Пермской духовной семинарии. Проявив исключительный интерес к физике и математике, он в 1877 г. уехал в Петербург, сдал вступительные экзамены и был принят на физико-математический факультет университета.

В 1883 г. Попов блестяще окончил университет и начал работать преподавателем Минной школы в Кронштадте. В этой школе наряду с учебной работой проводилась большая исследовательская деятельность в области электротехники и магнитизма, и её физический кабинет был лучшим в России.

К тому времени, когда Генрих Герц опубликовал результаты своих экспериментальных исследований по проверке теории Максвелла, Александр Степанович был вполне квалифицированным преподавателем и научным работником.

Уже в начале 1889 г. А. С. Попов повторил опыты Герца и на одной из публичных лекций высказал предположение, что электромагнитные волны в дальнейшем можно будет применять для передачи сигналов на расстояние.

Продолжая исследования электромагнитных колебаний, Попов усовершенствовал кохерер Бранли, Лоджа и др. Для автоматического встряхивания кохерера после воздействия электромагнитных волн он применил молоточек электрического звонка. Электрический звонок приводился в действие с помощью электромагнитного реле, срабатывающего под влиянием приходящих сигналов. Вскоре Попов обнаружил, что дальность действия приёмной схемы значительно увеличивается в случае присоединения к кохереру специального провода. Так появилась *первая антенна* — существеннейшая часть радиостанции.

Работая с такой схемой, Попов и Рыбкин (Пётр Николаевич Рыбкин с 1894 г. стал ближайшим сотрудником Попова) обнаружили, что схема реагирует на грозовые разряды. Присоединив к своей схеме аппарат Морзе, Попов начал записывать на ленту атмосферные разряды. Таким образом, был создан первый радиоприёмник (рис. 2) из осторожности первоначально названный А. С. Поповым «грозоотметчиком».

Этот прибор Попов продемонстрировал на заседании физического отделения Русского физико-химического общества 7 мая 1895 года. Источником электромагнитных колебаний при демонстрации служил расположенный поблизости вибратор типа Герца. Демонстрацию Александр Степанович закончил словами: «...В заключение могу выразить надежду, что мой прибор при дальнейшем усовершенствовании его сможет быть применён к передаче



Александр Степанович Попов
(1859—1906)

сигналов на расстояние при помощи быстрых электрических колебаний».

Описание «грозоотметчика» Попова было помещено в январском номере журнала Физико-химического общества в 1896 г.

24 марта 1896 г. на заседании Русского физико-химического общества А. С. Попов совместно с П. Н. Рыбкиным продемонстрировал передачу по радио сигналов азбукой

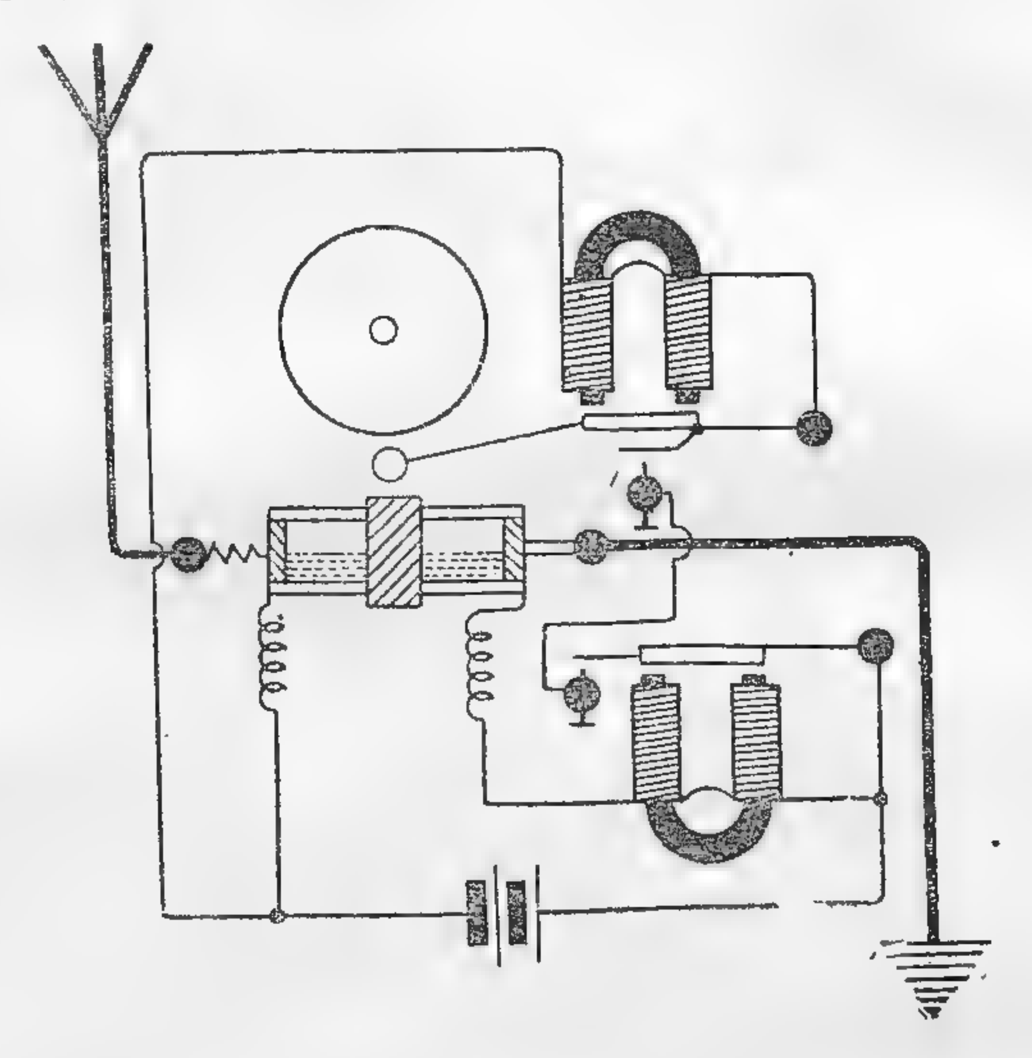


Рис. 2. «Грозоотметчик» Попова.

Морзе на расстоянии 250 *м*. Первая радиограмма, переданная Рыбкиным, состояла из слов «Генрихъ Герцъ».

Поскольку при этой демонстрации была использована та же самая схема, которую в качестве «грозоотметчика» А. С. Попов демонстрировал ранее, датой изобретения радио считается 7 мая 1895 года.

В мае 1897 г. Попов проводил опыты по радиосвязи на Кронштадтском рейде, сразу же достигнув дальности надёжной передачи — 640 *м*. Антенна делается при этом всё больше и, так как она органически входила в колебательный контур, соответственно растёт длина волны.

Летом того же года устанавливается связь между кораблями «Африка» и «Европа» на расстоянии до 5 *км*.

Такой исключительный успех реально поставил вопрос об оборудовании радиотелеграфными приборами военных кораблей. Ввиду отсутствия в России собственной электротехнической производственной базы, Морское ведомство приняло решение о заказе приборов Попова мастерской Дюкретэ, и в 1899 г. Попов был командирован с этой целью во Францию.

Летом 1899 г. Попов и Рыбкин открыли возможность приёма радиосигналов на слух посредством телефона, что в значительной мере повысило дальность радиосвязи при той же мощности передатчика. На такой способ радиоприёма Попов в 1900 г. получил патенты в Англии и Франции.

В августе — сентябре 1899 г. проводились опыты по связи между кораблями Черноморского флота, при этом дальность связи достигала 25 *км,* а скорость передачи 15 букв в минуту.

В ноябре 1899 г. броненосец «Генерал-адмирал Апраксин» на пути из Кронштадта в Либаву сел на камни у острова Гогланд. На помощь вышел ледокол «Ермак». Чтобы облегчить работы по спасению броненосца, Попову и Рыбкину предложили организовать радиосвязь между островом Гогланд и портом Котка (43 версты). Такая связь была установлена в феврале 1900 года. Вскоре около Лавенсари оторвало льдину с рыбаками и из Петербурга в Котку для командира «Ермака» прибыло телеграфное распоряжение оказать рыбакам помощь. Эту телеграмму из Котки Попов передал через радиостанцию на Гогланд, у которого находился ледокол «Ермак». Выполнив приказ, «Ермак» спас рыбаков.

Таким образом, открытие первой практической линии радиосвязи в России послужило с самого начала спасению человеческих жизней.

Командир Кронштадтского порта адмирал Макаров по этому поводу прислал А. С. Попову специальную телеграмму: «От имени всех кронштадтских моряков сердечно приветствую Вас с блестящим успехом Вашего изобретения. Открытие беспроволочного телеграфного сообщения от Кутсала до Гогланда на расстоянии 43 вёрст есть крупнейшая научная победа».

После этого случая был издан приказ Морского министерства «о введении беспроволочного телеграфа на бое-

вых судах как основного средства связи».

Летом 1900 г. Попов снова уехал во Францию для продвижения заказов на радиостанции. Оттуда он докладывал Морскому техническому комитету: «... До сих пор господин Дюкретэ, исполняющий для нас, по моим указаниям, приборы телеграфирования, работал также и для французского флота, где его приборы испытывались лейтенантом Тиссо, внёсшим свои изменения и добавления. Так что наши приборы до сих пор были тождественны с приборами французского флота и на Парижской выставке фигурируют также приборы с надписью «Попов — Дюкретэ — Тиссо».

18 августа 1900 г. жюри Международной электротехнической выставки в Париже наградило А. С. Попова за его радиостанцию большой золотой медалью с дипломом.

К этому времени наряду с успешными работами А. С. Попова стали известны работы другого конструктора радиостанций — итальянца Маркони.

Начав работать по экспериментальному изучению «лучей Герца» и получив первые обнадёживающие результаты, Маркони в начале 1896 г. уехал в Лондон и обратился за содействием к руководителю английского Почтового ведомства Прису. В июле 1896 г. в английском журнале «Электришен» было помещено краткое сообщение о том, что Маркони 2 июня 1896 г. подал патентную заявку на способ передачи электрических импульсов и сигналов и аппарат для этого.

В марте 1897 г. Маркони достиг дальности связи 6 *км*, а летом того же года увеличил её до 10 *км*. При этом схемы приборов Маркони хранились в строгой тайне до июня 1897 г. После опубликования их в журнале «Электришен» выяснилось, что Маркони использовал в качестве передатчика вибратор Герца, улучшенный профессором Риги, и приёмную схему, тождественную со схемой Попова (рис. 3).

Этим неоспоримо подтверждается приоритет А. С. Попова, как изобретателя радиосвязи.

В 1897 г. Маркони всё же пытался получить патент в России. Морской технический комитет запросил по этому поводу Попова, который в своём ответе указал: «...Передача сигналов помощью электрических импульсов, возбуждённых при посредстве различных вибраторов и приёмников с

чувствительными трубками или слабыми контактами, не представляет новости для Морского ведомства, где работы в этом направлении проводятся с 1895 года. Все источники электрических колебаний, перечисленные в спецификации Маркони, по существу известны и вошли в

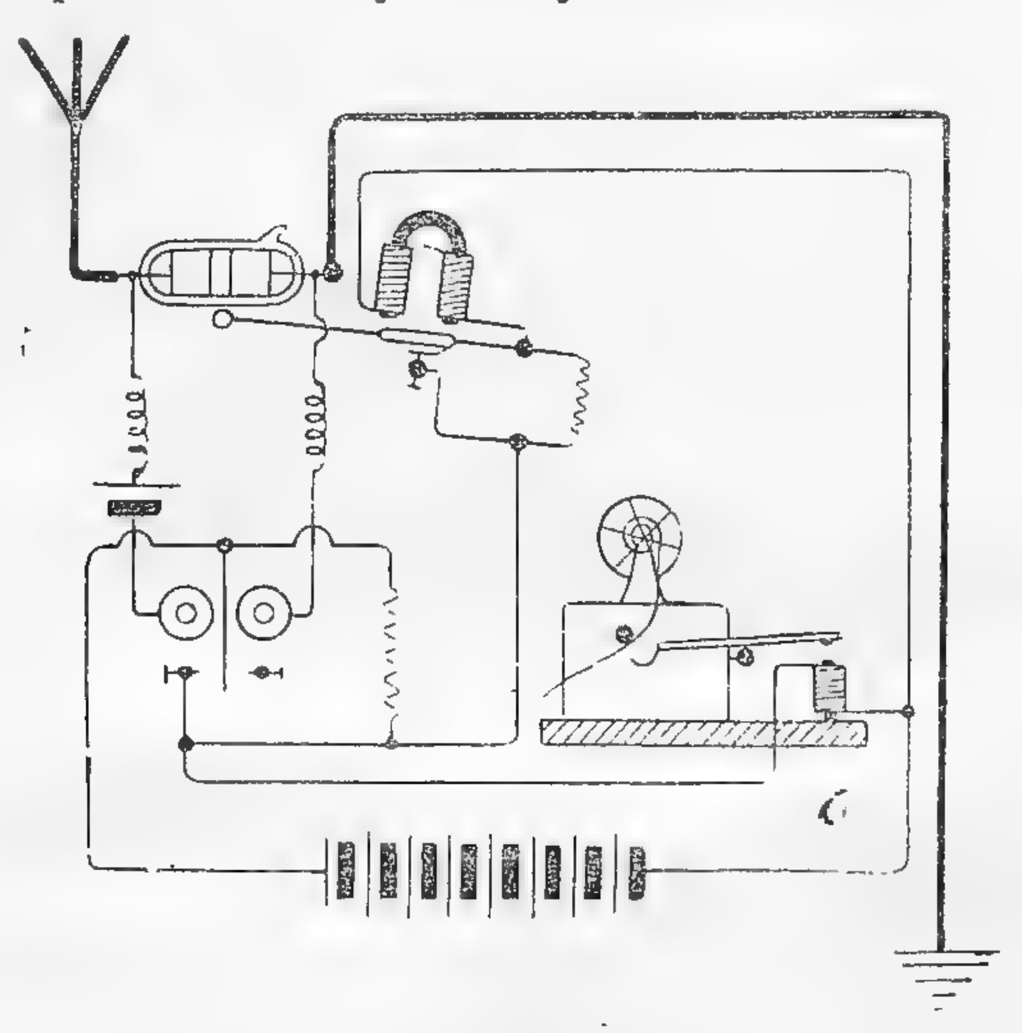


Рис. 3. Приёмная схема Маркони.

курсы специальных учебных заведений Морского ведомства...»

В Германии также отказали в патенте Маркони, ссылаясь на работы Попова. Вместе с тем, в Германии профессор Слаби с 1897 г. начал разрабатывать свои собственные конструкции радиостанций.

Не являясь изобретателем радиотелеграфной связи, Маркони сыграл, однако, весьма значительную роль в её дальнейшем развитии.

В марте 1899 г. Маркони осуществил радиосвязь между берегами Англии и Франции, достигнув дальности 45 *км*, а в декабре 1901 г. буква «S» была передана по радио через Атлантический океан на расстоянии около 3700 *км*. Для этих целей был использован передатчик со звучащей искрой мощностью около 10 *квт* и весьма сложная антенна.

Своих успехов Маркони достиг, прежде всего, благо-

даря тому, что сумел быстро привлечь к делу большие средства, так что уже в 1898 г. акционерный капитал, предоставленный в распоряжение Маркони, был доведён почти до 2 000 000 золотых рублей.

Между тем А. С. Попов в условиях отсталой промышленности дореволюционной России к 1902 г. смог лишь добиться организации в Кронштадте небольшой кустарной мастерской по изготовлению радиоаппаратуры.

Работая по усовершенствованию своего изобретения, Попов в 1900 г. вместо кохерера применил детектор с парой уголь-сталь, а в 1901 г. разработал сложные схемы приёмной и передающей радиостанции. В этом же году Александр Степанович был назначен профессором физики Электротехнического института в Петербурге.

В августе 1903 г. А. С. Попов участвовал в работах первой международной радиотелеграфной конференции в Берлине, делегаты которой приветствовали Александра Степановича, как изобретателя радио.

9 октября 1905 г. А. С. Попов был избран директором Электротехнического института, а 11 января 1906 г. председателем физического отделения Русского физико-химического общества.

Умер А. С. Попов 13 января 1906 г. от кровоизлияния в мозг, всего 46 лет от роду.

Вскоре после смерти Попова поднялась было дискуссия о приоритете в изобретении радио. Русское физико-химическое общество в связи с этим в 1908 г. избрало комиссию в составе профессоров Егорова, Хвольсона и др. Комиссия запросила мнение ряда крупнейших иностранных учёных и рассмотрела все ранее сделанные высказывания по вопросу об изобретении радио.

В частности, изобретатель кохерера Бранли ещё в 1898 г. писал: «Хотя опыт, о котором я всегда говорил как о важнейшем опыте, проведённом мной при изучении радиокондукторов, и является принципом беспроволочной телеграфии, однако, я не приписываю себе этого открытия, так как я никогда не предполагал передавать сигналы. Телеграфия без проводов в действительности является результатом опытов Попова...»

На основании тщательного изучения всех материалов комиссия окончательно установила приоритет А. С. Попова в деле изобретения радиосвязи.

Канд. техн. наук А. Д. ФОРТУШЕНКО

РАДИОСВЯЗЬ И РАДИОВЕЩАНИЕ СОВЕТСКОГО СОЮЗА

РАЗВИТИЕ РАДИО В РОССИИ ДО ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ

Начало развитию радио—этого величайшего достижения человечества — было положено в 1895 г. в России профессором А. С. Поповым. Это изобретение является одним из проявлений творческой одарённости русского народа. Однако, низкий уровень индустриального и общественного развития в царской России отразился на ходе дальнейшего внедрения этого могущественного средства связи и культуры.

Первые промышленные образцы своих радиостанций Попов в 1899 г. вынужден был заказывать во Франции у Дюкретэ. К 1902 г. Попову удалось организовать в Кронштадте лишь небольшую мастерскую, которая за год смогла изготовить всего 12 комплектов радиостанций.

В 1903 г. Морское Министерство заключило соглашение с немецкой фирмой «Телефункен» на радиофикацию кораблей русского флота; через 2 года эта фирма открыла в России свой филиал. В 1906 г. открылся филиал фирмы Эриксон и, наконец, в 1908 г. образовалось Русское общество беспроволочных телеграфов и телефонов — «РОБТиТ», являвшееся филиалом английской фирмы Маркони.

Таким образом, вследствие близорукости царских чиновников такое важнейшее дело, как радиопромышленность, оказалось отданным в руки иностранного капитала.

В первые годы после смерти А. С. Попова (январь

1906 г.), совпавшие с реакцией, последовавшей после революции 1905 г., русская радиотехника пришла в состояние застоя. Лишь к 1910 г. организуется радиотелеграфное депо Морского ведомства, где собираются лучшие инженеры того времени М. В. Шулейкин, А. А. Петровский, В. П. Вологдин, Н. Н. Циклинский и др. Здесь начинают строиться морские радиостанции, которые скоро вытеснили иностранные установки из флота. В 1912 г. появились первые передатчики с машиной высокой частоты Вологдина.

В 1913 г. «Радиотелеграфное депо» реорганизуется в Радиотелеграфный завод Морского ведомства. Здесь была создана радиолаборатория, возглавлявшаяся М. В. Шулейкиным, в которой, в частности, зародилась русская измерительная радиотехника.

К началу мировой войны 1914 г. почти все русские военные суда были оборудованы отечественными радиоустановками. В армии радио стало вводиться значительно позднее и более медленными темпами. Только с началом войны развитие армейской радиосвязи пошло быстрее.

В 1914 г. для связи с французским и английским командованиями в Петрограде и в Москве (на Ходынке) строятся 100-киловаттные искровые радиостанции. В дальнейшем мощные радиостанции были построены Военным ведомством также в Николаеве, Ташкенте, Чите и Кушке.

В системе почтово-телеграфного ведомства радиосвязь не получала заметного развития. Было построено лишь несколько искровых радиостанций мощностью порядка 15 *квт* на крайнем севере для метеослужбы и на Дальнем Востоке для связи Камчатки и Сахалина с Владивостоком.

Таким образом, Россия — родина радио — к моменту Октябрьской Революции 1917 г. резко отставала от других государств во внедрении радиосвязи. Это являлось следствием политической и индустриальной её отсталости.

РОЛЬ ЛЕНИНА И СТАЛИНА В РАЗВИТИИ СОВЕТСКОГО РАДИО

История развития радио в России после Октябрьской революции 1917 г. целиком связана с именами Ленина и Сталина.

Величайший гений человечества Владимир Ильич Ленин с первых дней установления Советской власти использовал

радио, как сильнейшее оружие большевистской пропаганды в целях организации масс. Уже 12 ноября 1917 г. Ленин подписывает обращение по радио «Всем. Всем.», в котором сообщалось об образовании Советского Правительства и о победе над Керенским (Ленин, т. XXII, стр. 34).

Товарищ Сталин вспоминает о другом факте использования радиостанции Лениным, когда при переговорах по проводу Духонин и Ставка категорически отказались выполнить приказ Совнаркома.

«Минута была жуткая...—говорил товарищ Сталин в речи на вечере кремлёвских курсантов 28 января 1924 г.—...Помнится, как после некоторой паузы у провода лицо Ленина озарилось каким-то необычайным светом. Видно было, что он уже принял решение. «Пойдём на радиостанцию,— сказал Ленин,— она нам сослужит пользу: мы сместим в специальном приказе генерала Духонина... и обратимся к солдатам через голову командного состава...» (И. Сталин «О Ленине», 1943, стр. 26—27).

И 22 ноября 1917 г. было передано «РАДИО ВСЕМ. Всем полковым, дивизионным, корпусным, армейским и другим комитетам, всем солдатам революционной армии и матросам революционного флота» (Ленин, т. XXII, стр. 72).

Как и предполагал Владимир Ильич, это обращение по радио дошло до широких масс солдат и матросов и сыграло свою роль.

Ленинские обращения по радио «Всем. Всем.» 12 ноября и 22 ноября можно рассматривать, как фактическое начало радиовещания впервые в мире. Правда, эти радиопередачи производились азбукой Морзе, но это принципиально не отличает их от последующих вещательных радиопередач через специальные вещательные радиотелефонные станции.

Исключительное внимание уделял Ленин развитию радиосредств Советской России и особенно организации общегосударственной сети радиостанций в системе Наркомата почт и телеграфов. Декретом Совнаркома от 19 июля 1918 г. была проведена централизация радиотехнического дела. Этим декретом Наркомпочтелю передавались из Военного ведомства крупнейшие радиостанции, в том числе Ходынская в Москве, Детскосельская под Петроградом,

Тверская приёмная станция и т. д. При Наркомпочтеле организовался Радиотехнический совет, в обязанности которого, в частности, входило составление плана устройства и эксплоатации сети радиостанций и высший надзор за выполнением этого плана. Этим же декретом Совету народного хозяйства передавались все радиозаводы, чем было положено начало Советской радиопромышленности, независимой от иностранных фирм.

Одним из первых шагов Наркомата почт и телеграфов была организация передачи по радио постановлений и информаций партии и правительства. В качестве передающей сети использовались Ходынская, Детскосельская, а позже и Ташкентская радиостанции. Вместе с тем была организована довольно широкая приёмная сеть. Радистами в большинстве случаев являлись демобилизованные моряки.

Уже осенью 1918 г. во всех городах и на крупных железнодорожных станциях можно было читать радио из Москвы. Для широкого населения это было большой новостью и радио считалось средством, порождённым большевиками.

Одновременно был разработан план развития радиосвязи, в котором предусматривалась связь Москвы с Дальним Востоком, Сибирью, Закавказьем и другими важными пунктами.

В. И. Ленин особое значение придавал радио, как средству связи с другими странами, независимому ни от каких границ и кордонов. Так 19 мая 1919 г. в речи на I Всероссийском съезде по внешкольному образованию Владимир Ильич говорил:

«...—французские газеты теперь попадают к нам редко, потому что мы окружены кольцом, но по радио сведения попадают, воздух захватить все-таки нельзя, мы перехватываем иностранные радио...» (Ленин, т. XXIV, стр. 290).

По радио В. И. Ленин узнал о Венгерской революции и 22 марта 1919 г. послал по радио правительству Венгерской Советской республики приветствие, в котором специально отметил:

«Безусловно необходимо постоянное радиосообщение между Будапештом и Москвой» (Ленин, т. XXIV, стр. 180).

В порядке осуществления ленинских указаний о развитии радиосвязи и для обеспечения связи Москвы с другими государствами 30 июля 1919 года было принято за подписью В. И. Ленина следующее постановление Совета Рабоче-Крестьянской Обороны:

«1. — Для обеспечения надёжной и постоянной связи центра Республики с западными государствами и окраинами Республики поручается Народному Комиссариату Почт и Телеграфов установить в чрезвычайно срочном порядке в г. Москве радиостанцию, оборудованную приборами и машинами наиболее совершенными и обладающими мощностью, достаточной для выполнения указанной задачи.

2. — Всем государственным учреждениям и организациям предлагается оказывать Народному Комиссариату Почт и Телеграфов в выполнении этой задачи самое деятельное и энергичное содействие по части снабжения всеми необходимыми материалами, транспорта железнодорожного, водного и гужевого и по привлечению к этой работе квалифицированных и неквалифицированных рабочих, обеспечив их продовольствием и жилищем.

3. — Работающих по установке радиостанции считать мобилизованными на месте и потому не подлежащими к призыву (независимо от их возраста) до тех пор, пока радиостанция не будет закончена.

4. — Всем рабочим квалифицированным и неквалифицированным, работающим по установке радиостанции, выдавать красноармейский паёк до тех пор, пока радиостанция не будет закончена.

5. — Для наблюдения за выполнением этой задачи в кратчайший срок и правильностью производимых работ учредить распоряжением Компочтеля особую комиссию из работников Компочтеля и представителей от В.С.Н.Х., Государственного Контроля и от Радио-Секции Пролетарского Производственного Союза Народной Связи; членам комиссии установить особое вознаграждение в пределах норм, предусмотренных постановлениями С.Н.К. о совместительстве».

Радиотехника с самого своего зарождения стала одной из наиболее прогрессирующих отраслей техники, требующих постоянной научно-исследовательской работы. В царской России научная работа в области радиотехники почти не проводилась. Для Советской России вопрос налаживания научной работы был жизненно важным ввиду необходимости полного освобождения от иностранной зависимости в таком важном деле как развитие радиосвязи.

И вот, в целях обеспечения развития русской радиотехники, 2 декабря 1918 г. Ленин подписал положение о радиолаборатории с мастерской в системе НКПиТ в Нижнем Новгороде. Эта лаборатория была организована на базе лаборатории Тверской приёмной станции с её сотрудниками В. М. Лещинским, М. А. Бонч-Бруевичем,

П. А. Остряковым и др. Положением предусматривалось, что радиолаборатория является первым этапом к организации в России государственного социалистического радиотехнического института, конечной целью которого является объединение в себе и вокруг себя всех научно-технических сил России, работающих в области радиотелеграфа, всех радиотехнических учебных заведений и всей радиотехнической промышленности.

В Нижегородской радиолаборатории скоро собралась значительная группа научных работников и в том числе В. К. Лебединский, Д. А. Рожанский, В. В. Татаринов, В. П. Вологдин, А. Ф. Шорин и др. Техническим руководителем лаборатории был назначен М. А. Бонч-Бруевич (позднее член-корреспондент Академии наук СССР). Здесь же начал издаваться журнал «Телеграфия и телефония без проводов».

Нижегородская радиолаборатория сыграла крупную роль в деле развития советской радиотехники и, в частности, радиовещания. Лаборатория разработала усилительные и генераторные электронные лампы и уже в конце 1919 г. успешно проводила опыты по радиотелефонной передаче.

Владимир Ильич Ленин признал эти работы радиолаборатории «великим делом». В письме на имя М. А. Бонч-Бруевича 5/II 1920 г. Ленин писал:

«Пользуюсь случаем, чтобы выразить Вам глубокую благодарность и сочувствие по поводу большой работы радиоизобретений, которую Вы делаете. Газета без бумаги и «без расстояний», которую Вы создаёте, будет великим делом. Всяческое и всемерное содействие обещаю Вам оказывать этой и подобным работам». («Телеграфия и телефония без проводов» № 23, 1924 г.).

Вскоре Владимир Ильич подписывает постановление Совета Обороны от 17 марта 1920 г., где записано:

«1. Поручить Нижегородской радиолаборатории Наркомпочтеля изготовить в самом срочном порядке, не позднее двух с половиной месяцев, Центральную Радио-Телефонную станцию с радиусом действия 2000 верст.

2. Местом установки назначить Москву и к подготовительным работам приступить немедленно».

В этом же постановлении предусматривалось изготовление машин высокой частоты Вологдина,

Ленин придавал исключительное значение быстрейшему продвижению радиостроительства, оказывал большую помощь и торопил строителей. После успешного завершения строительства первой радиотелефонной станции последовало новое постановление, подписанное Лениным 27 января 1921 г. В этом постановлении Совнаркома говорилось:

«Ввиду благоприятных результатов, достигнутых Нижегородской радиолабораторией по выполнению возложенных на нее постановлением Совета Труда и Обороны от 17 марта 1920 г. заданий по разработке и установке телефонной радиостанции с большим радиусом действия — Совет Народных Комиссаров постановил:

Поручить Народному Комиссариату Почт и Телеграфов оборудовать в Москве и наиболее важных пунктах Республики радиоустановки для взаимной телефонной связи»...

Далее намечалась широкая программа радиостроительства, при этом отмечалось «чрезвычайно важное государственное значение» и исключительная срочность этих работ.

Во всех постановлениях по строительству радиостанций предусматривались различные привилегии строителям.

Владимир Ильич лично контролировал ход радиостроительства, в случае каких-либо заминок помогал, подталкивал.

Так 26 января 1921 г. В. И. Ленин писал управляющему делами Совнаркома:

«...Этот Бонч-Бруевич (не родня, а только однофамилец Вл. Дм. Бонча-Бруевича), по всем отзывам, крупнейший изобретатель. Дело гигантски важное (газета без бумаги и без проволоки, ибо при рупоре и при приёмнике, усовершенствованном Бонч-Бруевичем так, что приёмников легко получим сотни, вся Россия будет слышать газету, читаемую в Москве).

Очень прошу Вас

1) следить специально за этим делом, вызывая Острякова и говоря по телефону с Нижним.

2) провести прилагаемый проект декрета ускоренно через Малый Совет. Если не будет быстро единогласия, обязательно приготовить в Большой СНК ко вторнику.

3) сообщать мне 2 раза в месяц о ходе работ». (Архив ИМЭЛ, № 23281).

В другой раз 2 сентября 1921 г. Владимир Ильич пишет Народному Комиссару Почт и Телеграфов:

«Прошу Вас представить мне сведения о том, в каком положении находится у нас дело беспроволочного телефона.

1) Работает-ли центральная московская станция? Если да, по скольку часов в день? на сколько верст? Если нет, чего не хватает?

2) Выделываются ли (и сколько?) приёмников, аппаратов, способных слушать разговор Москвы?

3) Как стоит дело с рупорами, аппаратами, позволяющими целой зале (или площади) слушать Москву? и т. д.

Я очень боюсь, что это дело опять «заснуло»...

(Ленинский сборник, XXIII, стр. 210).

Несмотря на свою исключительную занятость государственными делами в условиях разрухи после мировой и гражданской войн, Владимир Ильич находил время, чтобы следить за развитием радиотехники.

Исключительное внимание Владимира Ильича к радиолаборатории и её работникам особенно ярко проявилось в следующей записке Наркому Почт и Телеграфов от 11 мая 1922 года.

«Прочитал сегодня в «Известиях» сообщение, что Нижегородский Городской Совет возбудил ходатайство перед ВЦИК о предоставлении Нижегородской радиолаборатории ордена Красного Трудового Знамени и о занесении профессоров Бонч-Бруевича и Вологдина на красную доску.

Прошу Вашего отзыва. Я, с своей стороны, считал бы необходимым поддержать это ходатайство»...

Далее в этой записке Владимир Ильич просит прислать по возможности самый короткий отзыв Бонч-Бруевича о том, «как идёт его работа по изготовлению рупоров, способных передавать широким массам то, что сообщается по беспроволочному телефону».

«Эти работы имеют для нас исключительно важное значение в виду того, что их успех, который давно был обещан Бонч-Бруевичем, принёс бы громадную пользу агитации и пропаганде.

Поэтому необходимо пойти на некоторые жертвы, чтобы поддержать эти работы. В частности, я слышал, что в Америке подобные работы повели уже к успешным практическим результатам.

Надо-бы проверить, есть-ли у нас в распоряжении Нижегородской радиолаборатории вся новейшая американская литература по этому вопросу.

Прошу Вашего отзыва возможно скорее, чтобы я успел, в случае надобности, подписать то или иное сообщение или ходатайство ещё в открываемой завтра сессии ВЦИКа» (Архив ИМЭЛ № 9858).

Так неустанными заботами В. И. Ленина под его непосредственным руководством и по его указаниям создавалась база, на которой в дальнейшем широко развернулось советское радио.

После смерти Ленина его ученики и последователи, руководители большевистской партии и Советского правительства столь же внимательно относились к делу всемерного развития радио в нашей стране.

О значении, какое товарищ И. В. Сталин всегда придавал радио, как оперативнейшему средству связи, говорит, например, записка Ленина в Реввоенсовет от 15 октября 1919 г.

«Абсолютно необходимы для Южфронта кавалерийские радиостанции, а также полевые передвижные лёгкого типа, имеющиеся в большом количестве на складах главного военного инженерного управления. Сделайте немедленно распоряжение о срочной передаче Южфронту по 50 штук того и другого типа. Этого требует Сталин...» (Ленинский сборник, XXIV, стр. 18).

Сталинская политика индустриализации нашей страны обеспечила создание радиопромышленности как базы дальнейшего строительства радиостанций и радиоприёмников. Радиостроительство стало важной частью сталинских пятилеток. Так уже за 4 года первой сталинской пятилетки мощность магистральных коротковолновых радиопередатчиков увеличилась в 2,8 раза, а количество внутриобластных радиосвязей за это же время выросло в 22 раза. Количество ежесуточно передаваемых по радио телеграмм выросло за 4 года почти в 4 раза.

Выступая на XVII съезде ВКП(б) в 1934 г., товарищ

В. М. Молотов, докладывая о задачах второй пятилетки, говорил:

«Большую роль в осуществлении задач второй пятилетки должна выполнить организация связи, особенно радиосвязи, значение которой в обеспечении быстрого оперативного руководства работой всех отраслей народного хозяйства и в культурном строительстве растёт с каждым днем».

И дальше:

«В отношении *культурного развития* СССР шагает вперёд, как великан.

Во второй пятилетке мы должны в этой области осуществить следующие задачи:

...и) Увеличение количества радиовещательных станций за пятилетку с 57 до 93, а количества приёмных радиоточек на одну тысячу жителей СССР — с 13 в целом по стране до 44 и в городе — до 78 радиоточек...»

В решениях XVII съезда ВКП(б) по вопросу о второй пятилетке записано:

«Съезд подчёркивает необходимость большого развития связи всех видов, в особенности *радио*, и коренного улучшения качества работы связи».

В осуществление этого решения радиосвязь продолжала бурно развиваться и к концу второй пятилетки по абсолютному числу переданных радиотелеграмм СССР вышел на первое место в мире.

В 1939 г. в решениях XVIII съезда ВКП(б) для третьей сталинской пятилетки предусматривалось:

«Увеличить в 2,3 раза количество приёмных радиотрансляционных точек. Построить в ряде крупных городов телевизионные центры».

В результате личной помощи товарища Сталина и Центрального Комитета большевистской партии за годы сталинских пятилеток вся наша страна покрылась современными мощными радиоцентрами связи и вещания. Всё оборудование для этих радиоцентров изготовлено отечественной промышленностью.

К началу Отечественной войны Советский Союз занимал первое место в Европе по суммарной мощности радиостанций.

Уже перед самой войной было начато сооружение ряда новых мощных радиостанций, при этом одна из них дол-

жна была стать новым достижением мировой техники радиостроительства. Товарищ Сталин лично указал мощность и основные тактические данные этой радиостанции, а также место её сооружения.

Несмотря на исключительно тяжёлую обстановку первого периода войны товарищ Сталин не ослаблял своего внимания сооружению новой сверхмощной радиостанции, которая к концу 1942 года уже начала опытные передачи, а в 1943 г. вошла в строй действующих радиостанций.

Исключительное значение радио как средства агитации и пропаганды для мобилизации широких масс, на которое неоднократно указывал Ленин, особенно проявилось в дни Отечественной войны.

В дни, когда «над нашей родиной нависла серьёзная опасность» товарищ Сталин 3 июля 1941 года с помощью радио обратился ко всему народу со своим историческим обращением:

«Товарищи! Граждане! Братья и сёстры! Бойцы нашей армии и флота!

К вам обращаюсь я, друзья мои!..

...Государственный Комитет Обороны приступил к своей работе и призывает весь народ сплотиться вокруг партии Ленина — Сталина, вокруг Советского Правительства для самоотверженной поддержки Красной Армии и Красного Флота, для разгрома врага, для победы».

Благодаря большой работе по сооружению радиостанций и радиоузлов, проведённой по указаниям Ленина и Сталина, проникновенные слова вождя одновременно слушали многие миллионы советских людей на всей огромной территории Советского Союза, и это в огромной степени способствовало быстрейшей мобилизации всех наших сил на отпор вероломного врага.

И в дальнейшем голос великого вождя и полководца товарища Сталина не раз звучал в эфире.

Так 6 ноября 1941 г., когда гитлеровским фашистам казалось, что они уже на пороге победы, из Москвы по радио на всю страну нашу, на весь мир раздались уверенные ободряющие слова Сталина:

«Отныне наша задача, задача народов СССР, задача бойцов, командиров и политработников нашей армии и

нашего флота будет состоять в том, чтобы истребить всех немцев до единого, пробравшихся на территорию нашей родины в качестве её оккупантов.

Никакой пощады немецким оккупантам!».

И вот наступил «на нашей улице праздник», предсказанный великим Сталиным в приказе от 7 ноября 1942 года. По радио всему миру стали всё чаще и чаще разноситься слова Сталинских приказов и салюты из Москвы в честь славных побед Героической Красной Армии.

А 6 ноября 1944 г. великой народной радостью прозвучали слова товарища Сталина:

«Отныне и навсегда наша земля свободна от гитлеровской нечисти».

Огромное мобилизующее значение передачи выступлений и докладов товарища Сталина по радио состоит не только в том, что его слова одновременно доходят до многомиллионного советского народа. Особое значение имеет тот факт, что каждый советский человек непосредственно слышит голос вождя, спокойный и уверенный. И это создаёт исключительную доходчивость слов до широчайших масс и вызывает необыкновенный подъём сил на новые подвиги.

Передачи сталинских выступлений оказывают самое непосредственное влияние и на технику нашего радио.

Советские радисты, организующие радиопередачи и обслуживающие радиостанции и радиоузлы, используют все свои знания и умение, чтобы обеспечить высококачественную и бесперебойную передачу голоса вождя через многие десятки радиостанций, через тысячи радиоузлов и миллионы громкоговорителей.

Советское радио, получившее широчайшее развитие благодаря заботам Ленина и Сталина, с честью выполняет свою роль в Отечественной войне.

В условиях современной маневренной войны с большими массами механизированных соединений и авиации исключительно возросла роль радио как средства управления войсками.

В самом начале войны специальным приказом товарищ Сталин определил роль радио как основного, наиболее надёжного, в условиях боя, средства связи.

Этому вопросу товарищ Сталин уделял в дальнейшем исключительнейшее внимание. Выполняя сталинские ука-

зания, наша радиопромышленность в труднейших условиях перебазирования на восток выпустила необходимое количество радиоаппаратуры, что в значительной мере способствовало превращению нашей Красной Армии в самую маневренную армию мира.

Русский военный флот был колыбелью радио. Красный Военно-Морской Флот заботами товарища Сталина всегда продолжал оставаться передовым в отношении технического уровня своих радиосредств.

Следуя указаниям Ленина и Сталина, советская техника радио и военная и гражданская в своём развитии базируется на самой передовой науке.

Забота Ленина о создании особо благоприятных условий развития передовой науки в нашей стране выявилась, в частности, в создании Нижегородской радиолаборатории. Научные работники этой лаборатории вскоре стали отпочковываться для организации новых лабораторий.

В период сталинских пятилеток была создана мощная научно-исследовательская база в нашей промышленности.

Советские учёные всегда стремятся сохранить тот приоритет в развитии радио, который был завоёван изобретением А. С. Попова. Многие мировые достижения в области радио принадлежат русским людям.

Вместе с тем наша наука внимательно следит за зарубежными достижениями.

Совсем недавно, в январе 1945 г., Совнарком СССР дал новые указания о дальнейшем всемерном развитии радиосредств с учётом современных достижений мировой техники.

Таковы неустанные заботы руководителей большевистской партии и Советского правительства, в результате которых наша страна приходит к 50-летнему юбилею со дня изобретения радио русским учёным А. С. Поповым с крупнейшими достижениями в области радиотехники.

РАДИОСВЯЗЬ

Основные стационарные средства радиосвязи Советского Союза сосредоточены в Наркомсвязи и являются органической частью единой схемы магистральной связи, построенной на принципе комбинированного использования средств радио и проводной связи. Это означает, что

радио и провода на важнейших направлениях действуют параллельно, резервируя и дополняя друг друга. На отдельных направлениях, где трудно построить проводные линии, действуют только радиосвязи.

Особое место занимают радиосредства на связи с заграницей.

Радиосвязь в Советском Союзе ведётся исключительно на коротких волнах и имеет несколько специфических особенностей. Одной из этих особенностей является наличие значительного количества трудных линий связи, трасса которых имеет протяжённости свыше 6000 *км* и, кроме того, проходит в северных широтах, сильно подверженных магнитным возмущениям. Особенно трудными связями являются такие связи, как Москва — Нью-Йорк, Москва—Хабаровск и т. д. Для того, чтобы обеспечить работу этих связей, советским радистам приходится особенно тщательно отрабатывать их техническую оснащённость.

На дальних связях приняты стандартные мощности передатчиков 15 и 60 *квт*. Учитывая, что современные направленные антенны могут дать эффект, эквивалентный увеличению мощности передатчика в десятки раз, особое внимание обращается на устройство наиболее эффективных антенн и на правильный выбор рабочих частот для различных условий связи.

На основании длительного опыта основным типом передающей антенны на дальних радиосвязях принята диапазонная ромбическая антенна различных конструкций. На особо протяжённых и трудных линиях строятся сложные сдвоенные и счетверённые ромбические антенны, дающие большой коэфициент усиления. При расчёте антенн особое внимание уделяется получению необходимой направленности излучения как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях.

На приёме широко используются ромбические антенны и так называемые антенны бегущей волны. При этом на линиях до 5000 *км* применяется сдвоенный, а на более длинных линиях строенный приём.

В целях правильного выбора рабочих частот в СССР проводится систематическое изучение условий распространения радиоволн и состояния ионосферы. Для проведения необходимых наблюдений создан ряд пунктов, в которых

измеряется напряжённость поля различных радиостанций, а с 1936 г. организовано несколько ионосферных станций; кроме того, в магнитных лабораториях производятся наблюдения за поведением магнитного поля земли. Производятся также наблюдения за солнечными пятнами.

Материалы этих наблюдений обрабатываются и используются для составления прогнозов условий распространения коротких волн и рекомендации рабочих частот для различных условий связи. Такая работа проводится, в частности, Центральным научно-исследовательским институтом связи под руководством К. М. Косикова.

Строительство современных радиоцентров и целая система различных технических мероприятий наряду с накоплением опыта привели к тому, что устойчивость радиосвязей растёт с каждым годом.

Весьма характерной особенностью советской радиосвязи является систематическое повышение рабочих скоростей телеграфной передачи.

По количеству телеграмм внутреннего радиотелеграфного обмена СССР занимает первое место в мире. При столь больших потоках телеграфной корреспонденции скорость передачи имеет исключительное значение. На основных магистральных радиосвязях, имеющих достаточную нагрузку, установлена как норма манипулятивная скорость 300 слов в минуту. Советские радисты вполне уверенно работают на таких скоростях с кридовской аппаратурой — трансмиттером и ондулятором отечественного производства.

Зарубежные радиостанции работают на скоростях в среднем 100÷150 слов в минуту.

В 1938 г. на Каирской радиоконференции делегаты ряда стран в беседах с автором настоящей статьи заявляли, что советские радиостанции в эфире можно сразу выделить по большим скоростям. С тех пор скорости радиотелеграфной передачи ещё более возросли. Советские специалисты (инж. Б. А. Шварц и Г. Назмутдинов в ЦНИИСе и инж. Д. Д. Быков в Центральном телеграфе) разработали высокоскоростные трансмиттеры с применением фотоэлемента (фототрансмиттеры), позволяющие увеличивать скорость передачи до 1000 слов в минуту.

В 1943 г. связь Москва—Нью-Йорк так же была оборудована фототрансмиттером.

Об уровне советской техники на этой связи, которая по условиям прохождения радиоволн является самой трудной, достаточно ярко свидетельствует американский инженер Дж. Дегельман в статье «Высокоскоростной ондулятор», помещённой в журнале «Американская техника и промышленность» за февраль 1944 г. Дегельман пишет:

«Высокоскоростная радиотелеграфная запись является областью, в которой имеет место постоянное техническое сотрудничество между инженерами СССР и США. Это сотрудничество обеспечивает возможность поддерживания между этими странами постоянной радиосвязи.

На стороне США радиоприёмные центры, оборудованные приёмниками «Диверсити», работают на приём советских радиопередатчиков, принадлежащих к числу самых мощных в мире. В СССР радиоприёмники производят запись передач из США. Этот радиообмен составляется из огромного количества телеграмм, идущих в обе стороны, причём весь поток телеграмм проходит по названным радиоканалам с большой скоростью.

В деле обмена США с СССР скоростными радиотелеграфными передачами конкурируют три американские компании... Каждая из этих компаний независимо от другой пытается принимать советские передачи, и та из них, которая полностью примет всю передачу и получит подтверждение (квитанцию) вручает телеграмму адресату и получает соответствующую оплату. Бывают случаи, когда одна из компаний не примет всего текста телеграммы и не запишет, например, нескольких слов в конце телеграммы, в то же время другая компания запишет эту часть телеграммы, но не запишет её начала. В таких случаях, хотя телеграмма и записана полностью, но не может быть вручена адресату, так как сотрудничества между названными компаниями нет. В результате советская радиостанция вынуждена повторять свою передачу...

Радиоприём передач из всех союзных и нейтральных стран Европы, Африки и Южной Америки, а также из Советского Союза, даёт возможность сравнить уровень развития радиотелеграфии в разных странах. Советским инженерам небезынтересно знать, что *американские инженеры признают превосходство сигналов, передаваемых станцией РКБ, РАДИО МОСКВА, над всеми другими* [1]. Передачи из всех стран, исключая СССР, начинают терять интервалы между точками и тире на скоростях записи, превышающих 200 слов в минуту.

Скорость передачи из СССР ограничивается современными американскими ондуляторами, неспособными принимать на максимальных скоростях. Осциллоскопический анализ опытных передач радиостанции РКБ показал, что запись остаётся хорошей до 800 слов в минуту. Сигналы отличаются чистотой и чёткостью. Очевидно, что вся система передачи, начиная с ключевого устройства и таких цепей, как буферная цепь, цепи задающего генератора и усилителя, кончая антенным устройством, сконструированы специально для обеспечения ультравысоких скоростей передачи.

[1] Курсив мой. — *А. Ф.*

Метод манипуляции (ключевания) сигналов РКБ незнаком американским инженерам. Судя по скорости передачи, американские инженеры полагают, что в основу данного метода положен фотоэлектрический принцип, разработанный советскими инженерами для РКБ. Это предположение основано на том, что механическое управление в США не даёт желаемых результатов на скоростях передачи, превышающих 300 слов в минуту».

Наряду с совершенствованием радиосвязи, работающей по коду Морзе, что было начато ещё А. С. Поповым, советские радиоспециалисты давно уже работают над внедрением буквопечатания.

Ещё в 1921—1922 гг. А. Ф. Шорин проводил опыты по использованию на радиосвязях телеграфной аппаратуры Бодо. В 1938 г. инженеры Центрального научно-исследовательского института связи В. И. Керби и В. В. Новиков разработали шестикратную аппаратуру Бодо-радио, характерной особенностью которой является использование принципа Вердана (повторение для снижения действия помех). В последующем инженерами А. Д. Игнатьевым, Л. П. Гуриным и Г. П. Козловым была разработана девятикратная аппаратура Бодо-радио, являющаяся сейчас основным типом на радиосвязях. Такой метод радиотелеграфной передачи имеет большие эксплоатационные преимущества с точки зрения ускорения и упрощения обработки телеграмм. Производительность этой аппаратуры, примерно, соответствует производительности при передаче трансмиттером Крида со скоростью около 300 слов в минуту. Таким образом, 9-кратное Бодо позволяет хорошо использовать радиоканал и полностью обеспечивает телеграфный обмен на загруженных магистралях. Поэтому 9-кратное Бодо-радио находит в СССР всё большее применение.

Высшее достижение современной техники — передача изображений по радио или радиофототелеграфия — получила у нас значительное развитие не только на внутренних, но и на международных связях.

В самом начале Отечественной войны (в июле 1941 года) открыты фототелеграфные связи с Нью-Йорком и Лондоном. На этих связях в первое время передачи производились по современной системе с частотной модуляцией поднесущей частоты, разработанной RCA (США). Система RCA обеспечивает передачу фотографий с весьма высоким качеством, но имеет и существенные недостатки:

а) передатчик находится в телефонном режиме, что приводит к низкому использованию его мощности;

б) в эфире занимается сравнительно широкая полоса частот, вследствие чего система сильно подвержена воздействию различных помех.

По предложению инженера Октябрьского радиоцентра А. И. Магазанника в 1943 г. фототелеграфная связь с Нью-Йорком переведена на новую систему частотной модуляции несущей, которая значительно увеличивает надёжность связи, давая выигрыш, эквивалентный десятикратному увеличению мощности радиопередатчика. Это достигается за счёт перевода передатчика в телеграфный режим и значительного сужения рабочей полосы частот. Усовершенствование фотосвязи позволило также увеличить скорость передачи; теперь фотоснимок размером 190×290 *мм* передаётся за 15 минут.

Благодаря фототелеграфной связи в иностранной прессе широко публикуются фото, отражающие события на фронтах Отечественной войны, и даются другие советские иллюстративные материалы. Кроме того, эта связь широко используется для передачи чертежей и документов.

В настоящее время всё большие возможности открываются также и для радиотелефонии. У нас в эксплоатации находятся, например, такие связи как радиотелефон с Лондоном и Нью-Йорком. Правда, радиотелефонная связь с Нью-Йорком пока ограничивается временем наилучшего прохождения радиоволн (по московскому времени с 14 до 20 часов).

Современная радиотехника позволяет значительно улучшить радиотелефонную связь путём передачи на одной боковой полосе частот, без несущей частоты. Теоретически и экспериментально показано, что однополосная работа радиотелефонного передатчика эквивалентна увеличению мощности обычного передатчика в $8 \div 16$ раз. Кроме того, вследствие отсутствия второй боковой полосы спектр частот, занимаемый передачей в эфире, сокращается вдвое и снижаются искажения за счёт отсутствия замирания несущей частоты. Значительный выигрыш в мощности при однополосной работе передатчика позволяет создать многоканальные системы на радиосвязях. Примером однополосной многоканальной радиосвязи может служить система ОРМ, разработанная ещё в 1939 го-

ду Центральным научно-исследовательским институтом связи (В. А. Котельников, А. В. Черенков и А. Ф. Ганин) и показавшая хорошие результаты при эксплоатационном использовании.

Полоса частот модуляции однополосного передатчика состоит из частоты так называемого пилот-сигнала 200 *гц*, частот телефонного канала от 400 до 2600 *гц* и трёх телеграфных каналов с несущими 3240, 3960 и 4680 *гц*. Пилот-сигнал служит для автоматической подстройки гетеродина приёмника и для автоматической регулировки уровня на выходе приёмника. Система допускает так называемую позитив-негативную телеграфную работу, когда при нажатии ключа передатчик излучает одну частоту и во время отжатия другую, отличающуюся от первой (в данном случае на 620 *гц*).

Метод частотной манипуляции значительно увеличивает устойчивость связи в условиях плохого прохождения радиоволн и наличия помех.

Практика показала, что на одной из трудных магистралей, в часы плохого прохождения радиоволн, когда радиосвязь с обычным передатчиком нарушалась, передача по системе позитив-негатив ОРМ давала нормальную работу даже с Бодо-радио. Несомненно, что такая система является в настоящее время наиболее совершенной и должна получить большое распространение.

Работы, о которых мы упоминали, а также ряд других работ, которые частично находятся в лабораториях, показывают со всей очевидностью, что Советский Союз располагает самой передовой техникой радиосвязи. Главной задачей на ближайшее время является более широкое внедрение этой техники.

РАДИОВЕЩАНИЕ

Начало использованию радио для обращения к широким массам солдат, матросов и всему населению с политическими призывами, в целях организации единства действия этих масс, положил великий организатор Социалистического государства Владимир Ильич Ленин, непосредственно после установления Советской власти в ноябре 1917 года. В то время передачи производились через мощные радиотелеграфные передатчики по азбуке Морзе, а

приёмной сетью являлись довольно многочисленные радиоприёмники в частях армии и на кораблях флота. Военные радисты принимали обращения главы Советского правительства и немедленно сообщали их своим товарищам.

Радио серьёзно способствовало тому, что Октябрьское восстание быстро охватило всю Россию. В деле мобилизации всех сил русского народа, сначала в гражданской войне, затем в социалистическом строительстве, радио также являлось могучим оружием партии Ленина—Сталина.

Доходчивость радиопередач до широких масс неизмеримо возросла с тех пор, когда в радиопередаче ключ Морзе был заменён микрофоном.

Вдохновляемые ленинским заданием, работники Нижегородской радиолаборатории во главе с М. А. Бонч-Бруевичем в 1922 г. построили в Москве первую радиотелефонную станцию специально для радиовещания. Первая советская радиовещательная станция имела мощность около 12 *квт* и была в то время самой мощной радиовещательной станцией в мире.

Первый большой радиоконцерт через Московскую радиостанцию состоялся 17 сентября 1922 г., тогда как начало радиовещания в Англии относится к ноябрю 1922 г., во Франции к декабрю 1922 г., а в Германии к концу октября 1923 года.

После первой радиовещательной передачи последовали другие на всё более совершенной основе. Первыми радиослушателями опять-таки являлись радисты армейских, судовых и наркомпочтелевских приёмных радиостанций. Постановление СНК СССР «О частных приёмных радиостанциях» (28 июня 1924 г.) положило начало широкому радиолюбительству и организации массовой аудитории радиослушателей.

В октябре 1924 г. была создана специальная государственная организация для проведения радиовещания — «Акционерное общество для широкого вещания по радио». Это общество в дальнейшем было преобразовано во Всесоюзный Радиокомитет при СНК СССР, причём все технические средства радиовещания остались в ведении Наркомсвязи.

В 1924 г. начали работать новые радиовещательные станции в Москве, Ленинграде и Нижнем Новгороде.

Затем вещательные радиостанции стали строиться в других городах, к концу первой сталинской пятилетки их уже насчитывалось 57, а к концу второй пятилетки более 90.

В 1933 г. вступила в строй 500-киловаттная станция, бывшая тогда самой мощной в мире. При строительстве этой станции советские радиоспециалисты во главе с проф. А. Л. Минцем решили ряд новых вопросов радиотехники.

С развитием коротковолновой радиотехники началось сооружение ряда вещательных радиостанций на коротких волнах и, в частности, в 1938 г. была сооружена радиостанция РВ-96 по своей мощности и технике также стоявшая в ряду подобных сооружений на первом месте в мире.

Наконец, в условиях жестоких боёв с нацистскими ордами в 1943 г. в Советском Союзе была пущена в эксплоатацию новая, ныне самая мощная в мире длинно-и средневолновая радиовещательная станция, спроектированная по инициативе и по указаниям товарища Сталина. Честь разработки и изготовления основного оборудования для этой радиостанции принадлежит Ленинграду. Десятки заводов города Ленина принимали участие в её создании и даже в тяжёлые дни начавшейся блокады ленинградские заводы не прекращали выполнения заказов для новой мощной радиостанции. Изготовленное оборудование через линию фронта вывозилось из Ленинграда к месту строительства. Строительство здания и 200-метровых стальных радиобашен не прекращалось в лютые морозы. Многие участники строительства сверхмощной длинно-и средневолновой радиовещательной станции награждены правительством орденами и медалями.

Так создавалась техническая база советского радиовещания, располагающая в настоящее время наиболее мощными радиостанциями в мире [1].

Организация радиовещания в нашей стране ввиду её огромной территории является довольно сложной задачей, что особенно относится к организации центрального общесоюзного вещания. Программы центрального вещания

---

[1] Некоторые технические данные о советских мощных радиостанциях даны в статье В. А. Шаршавина «Мощные передающие радиостанции СССР», помещённой в этом сборнике.

передаются в основном из Москвы. Для того, чтобы обеспечить хорошую слышимость этих передач используется сеть длинноволновых и коротковолновых радиостанций, расположенных по всей территории Советского Союза. Некоторые из этих радиостанций служат только для трансляции программ центрального вещания, другие радиостанции обслуживают также республиканское и областное радиовещание.

Многие радиостанции получают программу из Москвы по каналам проводной междугородной телефонной связи, остальные станции принимают на своих выделенных приёмных пунктах московские радиопередачи и далее их транслируют на своих волнах.

Когда из Москвы передаются важные сообщения и особенно, когда перед микрофоном выступает наш вождь товарищ Сталин, свыше сотни радиопередатчиков, каждый на своей волне, одновременно включаются для трансляции. В любом пункте Советского Союза и далеко за его пределами слышна тогда московская передача.

Каждая из многочисленных союзных и автономных республик имеет свои радиовещательные станции, обеспечивающие передачи на 70 языках. Национальное радиовещание в сильной степени помогает росту национальной культуры советских народов.

В крупных областях имеются областные радиовещательные станции, которые кроме трансляции центральной или республиканской программ дают программу областного значения. При этом многие радиостанции обслуживают по очереди несколько соседних областей.

Значительное количество радиостанций ведут международное вещание, передавая информацию на многих иностранных языках.

При большом объёме вещания, осуществляемого на больших пространствах Советского Союза, исключительное значение имеет правильный подбор рабочих волн радиовещательных станций. Только в этом случае удаётся обслужить заданную территорию и избежать взаимных помех радиостанций. Весьма полезным является присвоение радиовещательным станциям в качестве дневных волн более длинных и в качестве ночных — более коротких из диапазона средних волн.

ПРИЁМНАЯ СЕТЬ ВЕЩАНИЯ

Приёмная сеть советского радиовещания развивалась двумя путями. С одной стороны, увеличивалось количество индивидуальных радиоприёмников, с другой — шло оборудование радиотрансляционных узлов. Радиотрансляционные узлы производят радиоприём вещательной программы и транслируют её по проводам к абонентам. Радиоприёмники трансляционных узлов, как правило, выносятся за пределы населённого пункта во избежание индустриальных помех. От выделенного приёмного пункта энергия звуковой частоты по соединительной линии поступает в радиоузел на усилитель мощностью от десятков ватт до нескольких киловатт. С выхода усилителя энергия звуковой частоты напряжением 120—240 *в* подаётся в фидерные проводные линии, подвешенные на столбах или на металлических стойках, установленных на крышах домов; от фидерных линий делаются отводы в отдельные дома. На вводах устанавливаются абонентские трансформаторы, понижающие напряжение до 30 *в*. Это напряжение поступает по абонентской проводке к абонентскому громкоговорителю. На трансляционных сетях применяются электромагнитные и электродинамические громкоговорители. В конце 1944 г. Центральный научно-исследовательский институт связи разработал пьезоэлектрические громкоговорители с кристаллами сегнетовой соли, обеспечивающие хорошее воспроизведение в полосе 120÷8000 *гц*, что вполне удовлетворяет требованиям вещания.

Кроме абонентских громкоговорителей, усилители радиоузлов обычно питают по особой сети уличные динамики.

В больших городах строятся несколько отдельных радиоузлов — подстанций со своей трансляционной сетью. Подстанции соединяются с центральной станцией соединительными линиями (обычно телефонные пары), по которым от центральной станции подаётся напряжение звуковой частоты низкого уровня. По другой линии подаётся контроль и сигнализация от подстанции к центральной станции, благодаря чему подстанцию можно пустить с центральной станции и оттуда же контролировать её работу. Центральная станция связана соединительными линиями с выделенным приёмным пунктом, студиями и междугородной телефонной станцией. Трансляционная сеть

крупных городов строится по двухзвенной системе, т. е. использует два напряжения, например 240 *в* и 30 *в*.

В последнее время в крупнейших городах начинает внедряться трёхзвенная система построения сети. При этом вместо нескольких маломощных усилительных подстанций строится одна более мощная; от неё фидерами при напряжении до 1000 *в* энергия распределяется между трансформаторными подстанциями. Трансформаторные подстанции снижают напряжение до 120—240 *в*, которое поступает в обычную абонентскую распределительную сеть.

Одна из новых мощных типовых подстанций данной системы, построенных в Москве, сооружена в специальном 2-этажном здании общей кубатурой до 600 *куб. м*. Верхний этаж здания занят аппаратной, нижний предназначен для силовой понизительной подстанции Мосэнерго и подсобных служб. В аппаратной установлены усилители низкой частоты, мощность которых равна 10÷12 *ква*. Общая установочная мощность подстанции достигает 30 *ква*. Мощные усилители работают в экономичном режиме с использованием отрицательной обратной связи, что позволяет получить достаточно высокие качественные показатели тракта передачи. Промышленный кпд усилителей достигает 50÷55%. Весь комплекс оборудования подстанции рассчитан на дистанционное управление из центральной станции трансляционной сети по обычным городским телефонным кабельным линиям. Воздушные высоковольтные фидерные линии снабжены специальной системой защиты, снимающей напряжение с линии при её обрыве, замыкании и резком падении сопротивления изоляции по отношению к земле.

Сейчас каждая такая усилительная подстанция по высоковольтным линиям через понизительные трансформаторные подстанции питает энергией звуковой частоты до 40÷45 тысяч радиотрансляционных установок города. В будущем нагрузку на подстанцию предполагается увеличить, примерно, в два раза. Подобные системы частично применяются в ряде других крупных городов Союза (Киев, Ленинград, Минск, Саратов и др.).

Радиотрансляционные сети имеются в каждом городе и в каждом районном центре Советского Союза. Кроме того, многие крупные предприятия и рабочие посёлки имеют свои радиоузлы.

Система радиотрансляционных узлов обладает несколькими несомненными преимуществами:

1. Абонент радиоузла освобождается от забот по уходу за индивидуальным радиоприёмником (включая замену перегоревших ламп и ремонт приёмника).

2. Оборудование радиотрансляционной точки стоит значительно дешевле, чем приобретение и установка радиоприёмника. В состав этого оборудования не входят элементы, подлежащие регулярной замене, что позволяет государству, в частности, экономить много миллионов радиоламп.

3. Качество приёма получается выше, так как приёмный пункт радиоузла, как правило, оборудуется в месте, свободном от индустриальных помех.

4. Через радиоузел из студии можно передавать по сети местное вещание.

В условиях войны радиотрансляционные сети сыграли исключительно большую роль. Часто в связи с опасностью воздушного нападения противника местные вещательные радиостанции приходилось с наступлением темноты выключать во избежание их использования противником в качестве радиомаяка. Радиотрансляционные сети в этих случаях продолжали работать, получая программу на коротких волнах, по междугородным проводам или из местной студии. Во время самого воздушного нападения радиотрансляционная сеть служила прекрасным средством оповещения населения.

Особенно показателен опыт, полученный в этом отношении героическим Ленинградом во время его блокады. Ленинградская трансляционная сеть работала круглосуточно. Ночью и в часы перерыва вещания в сеть подавались звуки метронома. Обычно метроном работал редкими тактами, а после объявления тревоги переводился на частый темп. Таким образом, каждый ленинградец, проснувшись ночью, мог с уверенностью знать о положении дела. О работе своей трансляционной сети ленинградцы отзывались с исключительной теплотой.

Согласно решению XVIII съезда ВКП(б) за III пятилетку число радиотрансляционных точек в нашей стране должно было вырасти в 2,3 раза. Это означает, что к концу 1944 г. у нас должно было быть около 8 миллионов точек. Однако, вследствие войны сократилось производ-

ство громкоговорителей и усилительной аппаратуры и, кроме того, значительное количество радиоузлов и абонентских установок было уничтожено на территории, подвергавшейся немецкой оккупации. В результате на 1 января 1945 г. у нас имелось только около 5 миллионов радиоточек.

СНК СССР специальным постановлением от 19 августа 1944 г. принял меры к восстановлению производства аппаратуры, необходимой для развития радиотрансляционной сети. Было также установлено задание в течение ближайшего года увеличить радиотрансляционную сеть на 1 миллион радиоточек. Темпы дальнейшего роста несомненно будут ещё больше.

Вместе с тем в нашей стране должно значительно увеличиться и количество индивидуальных радиоприёмников.

Радиосвязь и радиовещание Советского Союза имеют к 50-летнему юбилею изобретения радио богатейшую техническую базу и многочисленные квалифицированные кадры.

Победное завершение войны против фашизма и исключительное внимание, которое оказывают руководители Партии и Советского Правительства делу развития радио в нашей стране, открывают исключительные перспективы развития советского радио.

В. И. ШАМШУР

ОСНОВАТЕЛИ СОВЕТСКОЙ РАДИОТЕХНИКИ

Со смертью А. С. Попова иностранным фирмам (Маркони, «Телефункен») быстро удалось захватить монополию на строительство и поставку радиостанций армии и флоту России. В 1908 г. в Петербурге появилось акционерное «Русское общество беспроволочных телеграфов и телефонов». «Русским», однако, оно было только по названию, а на самом деле представляло собой филиал английской фирмы Маркони.

Только в 1910 г. возникло первое действительно русское радиопредприятие — радиотелеграфное депо Морского ведомства, в которое была реорганизована Кронштадтская радиомастерская, основанная самим Поповым. Благодаря успешной работе небольшой группы русских радиоспециалистов, собравшихся в этом депо (М. В. Шулейкин, Н. Н. Циклинский, А. А. Петровский, В. П. Вологдин), морские радиостанции, изготовленные в депо, в скором времени вытеснили во флоте иностранную аппаратуру.

Из группы специалистов радиотелеграфного депо впоследствии выросло несколько советских школ радиоспециалистов, плодотворно работавших на развитие и укрепление советской радиотехники.

*

Крупнейшую роль в развитии радиотехники и в создании школы советских радиоспециалистов сыграл академик Михаил Васильевич Шулейкин (1884—1939).

Вскоре после начала своей работы в радиотелеграфном депо Михаил Васильевич организовал заводскую лабораторию, занялся разработкой и строительством радиопере-

датчиков и приборов, создал свою систему умножения частоты, вёл опыты по радиотелефонированию.

Свои выдающиеся способности Михаил Васильевич проявил ещё в начале первой мировой войны. В первые же дни после начала войны оказалось, что ни русские, ни союзные радиостанции не могут перехватить радиограмм с кораблей немецкого военно-морского флота. Морские штабы Англии, Франции и России были очень озабочены тем, что из-за отсутствия перехваченных радиограмм нельзя установить местонахождение немецкого флота.

Первым разгадал секрет Михаил Васильевич. Он предположил, что флот Германии перешёл с работы затухающими колебаниями (искрой) на незатухающие и для проверки этого подключил тиккер (прерыватель) к радиоприёмнику. Сразу же в телефонных трубках радистов появились сигналы станций незатухающих колебаний кораблей немецкого флота.

Впоследствии оказалось, что ещё до войны Германия в большой тайне оборудовала свои корабли и береговые станции дуговыми генераторами Паульсена. Станции эти были опечатаны и пользоваться ими не разрешалось до особого указания. В день объявления войны печати были сняты, прекратилось использование старых искровых станций, что и явилось неожиданной новинкой для союзников.

Михаил Васильевич много и плодотворно работал над самыми разнообразными вопросами радиотехники. В журнале «Известия по минному делу» в 1916 г. он опубликовал свою работу об использовании генераторов высокой частоты для радиотелефонирования, в которой впервые в мировой литературе было указано математически на существование боковых полос при модуляции и дано выражение для модулированного тока. Таким образом, русский радиоспециалист намного опередил зарубежных радиоспециалистов, которые к этой мысли тогда ещё не пришли.

В области распространения радиоволн Шулейкин был создателем большой школы, единственной по своему значению не только в СССР, но и за границей. Он создал теорию излучения земным лучом и на 8 лет ранее Ван-дер-Поля дал расчётные формулы радиопередачи вдоль земной поверхности. В 1920 г. М. В. Шулейкин на 4 года ранее зарубежных учёных (Лармор) разработал основы современной теории преломления радиоволн в ионосфере,

Создатель теории радиосетей, разработавший её и давший основные формулы задолго до зарубежных учёных, Михаил Васильевич опубликовал из этой работы только несколько статей, а остальное излагал в лекциях. Ему



Михаил Васильевич Шулейкин (1884—1939).

принадлежит образцовый инженерный расчёт радиосетей, особенно длинноволновых, расчёт заземления и развитие ряда смежных тем.

М. В. Шулейкин является основателем радиоспециальности в советских втузах. Он создал радиофакультеты в

Московском высшем техническом училище, в Военной электротехнической академии, в Институте народного хозяйства и в Институте связи. Он руководил преподаванием, сам читал вначале все основные курсы (электромагнитные колебания, теоретическая радиотехника, распространение радиоволн, радиосети и др.). Основные положения этих курсов ученики Михаила Васильевича сейчас читают так же, как их учил Михаил Васильевич. Многие главы и страницы наших советских учебников по радиотехнике являются отражением и развитием тех основ знаний, которые авторы получили от своего учителя.

Печатных трудов, изданных при жизни Михаила Васильевича, у нас мало, но в его архивах имеется несколько рукописей учебников по тем курсам, которые много лет читал Шулейкин. Среди них рукописи учебников по распространению радиоволн, по электронным лампам, где изложена не только теория ламп, но и вопросы их применения, и т. д. Чрезвычайно требовательный к себе, Михаил Васильевич в силу своей огромной загруженности не мог найти времени, чтобы закончить рукописи. Мечтой его, неоднократно высказывавшейся в близком кругу, было создание учебника под названием «Инженерная радиотехника». Такое стремление очень характерно для Михаила Васильевича, который никогда не ограничивался теоретическим анализом и физическим пониманием изучаемого явления, а всегда стремился довести работу до инженерного расчёта. В этом же направлении он воспитал своих многочисленных учеников, ныне профессоров, докторов технических наук, руководителей кафедр в различных втузах, главных инженеров, ведущих радиоспециалистов во всех отраслях радиопромышленности, радиосвязи и радиовещания СССР.

Глубокие знания Михаила Васильевича в каждой из современных областей радиотехники, сочетавшиеся с огромным кругозором, превратили его в авторитетнейшего в СССР консультанта в области радио. Не было случая, чтобы консультация Михаила Васильевича оставляла какие-либо неясности, давала двойственное решение.

До последнего своего вздоха, невзирая на перебои больного сердца, Михаил Васильевич принимал непосредственное, живое и деятельное участие в развитии советской радиотехники.

*

Ближайшим соратником Михаила Васильевича в деле создания советской школы радиоспециалистов был Имант Георгиевич Фрейман.

И. Г. Фрейман начал свою научную и преподавательскую деятельность в 1919 г. в Петербургском электротехническом институте и других учебных заведениях.

«Курс радиотехники», написанный Имантом Георгиевичем в годы блокады, в годы отрыва радиотехники в СССР от зарубежных достижений, оказался на высоте европейской радиотехнической науки и опередил многие иностранные книги того времени своим глубоким инженерным подходом к трактовке рассматриваемых вопросов.

Печатные работы Иманта Георгиевича, многочисленные выступления и доклады его охватывают самые разнообразные темы радиотехники. Их перечень — это перечень этапов развития советской радиотехники. Начав с работ над искровым разрядом, Фрейман много и плодотворно работал над теорией машин высокой частоты, над теорией распространения, теорией антенн, над различными вопросами применения электронных ламп, создал теорию и методику расчёта лампового генератора.

Многое сделал Имант Георгиевич и для развития советской радиопромышленности. Он принимал деятельное участие в работе Технического совета Треста заводов слабого тока, консультировал работы Центральной радиолаборатории треста, руководил одним из её отделов.

Преждевременная смерть оборвала много новых творческих планов Иманта Георгиевича.

*

Исключительно много сделал для развития радиотехники Михаил Александрович Бонч-Бруевич, плодотворно работавший над решением самых разнообразных радиотехнических проблем и оставивший почти в каждой из областей радиотехники богатое научное наследство. Имя Бонч-Бруевича, выдающегося учёного, одного из основоположников советской радиотехники, человека с исключительным кругозором, технической инициативой и инженерным талантом, особенно тесно связано с Нижегородской радиолабораторией, бессменным руководителем которой являлся Михаил Александрович. Свою творческую

работу Бонч-Бруевич начал в первые годы первой мировой войны на Тверской приёмной радиостанции.

Имея крайне примитивную техническую базу и не встречая на первых порах поддержки со стороны начальника радиостанции, Михаил Александрович приступает к созданию отечественных электронных ламп и у себя на дому создаёт внештатную лабораторию Тверской радиостанции. В этой лаборатории весной 1916 г. была испытана первая самодельная газовая лампа, после чего началось производство русских электронных ламп [1].

После Октябрьской революции на радиостанции побывал первый нарком почт и телеграфов тов. В. Н. Подбельский. После доклада Подбельского о работах тверской группы радиоспециалистов и о работах В. И. Вологдина, А. Ф. Шорина и других в Петербурге Владимир Ильич Ленин дал указание Наркомпочтелю организовать первую советскую радиолабораторию, объединив в ней группу Бонч-Бруевича, группу Вологдина с завода б. «Дюфлон» и лабораторию Детскосельской передающей радиостанции во главе с А. Ф. Шориным.

Так в Нижнем Новгороде на набережной высокого правого берега Волги в октябре 1918 г. возникла Нижегородская радиолаборатория. Подписанное Владимиром Ильичом «Положение о радиолаборатории с мастерской» говорило, что она является первым этапом к организации в России государственного социалистического радиотехнического института.

В том же, 1918 г. лаборатория выпустила первые русские вакуумные лампы ПР-1 (пустотные реле), которые пришли на смену иссякшему к этому времени запасу заграничных ламп, привезённых в Россию во время войны.

Непрестанная личная поддержка Владимира Ильича и активная помощь, которую с первых шагов лаборатории оказывали руководящие работники Нижегородского края — В. М. Молотов и А. А. Жданов — позволили широко по тому времени развить и поставить исследовательскую и научную деятельность лаборатории.

В годы блокады, когда советская страна была пол-

---

[1] Подробно о работах по созданию русских электронных ламп рассказано в статье П. А. Острякова «Развитие радиолампы», напечатанной в настоящем сборнике.

ностью изолирована от заграницы, Нижний Новгород стал подлинной кузницей радиоизобретений, застрельщиком передовой радиомысли. Помимо успешных работ



Михаил Александрович Бонч-Бруевич (1888—19[illegible]0).

М. А. Бонч-Бруевича над созданием советских электронных ламп и постройкой радиотелефонных станций, В. К. Лебединский и Д. А. Рожанский вели научно-теоретические исследования, В. П. Вологдин работал над машинами высокой частоты и ртутными выпрямителями,

А. Ф. Шорин — над приёмно-передающей радиотелеграфной аппаратурой.

В 1920 г. Нижегородской радиолабораторией был построен в Москве радиотелефонный передатчик мощностью до 2 *квт* в антенне. Работа передатчика была слышна в Ташкенте, Чите, Обдорске и за границей — в Берлине, в Норвегии.

В 1922 г. Нижегородская радиолаборатория оборудовала радиотелефонный передатчик в Москве специально для целей радиовещания. Московская станция имела мощность 12 *квт* и была тогда самой мощной в мире. В этом же году Нижегородская радиолаборатория была награждена орденом Трудового Красного Знамени, причём ВЦИК особо отметил деятельность М. А. Бонч-Бруевича, В. П. Вологдина и А. Ф. Шорина. Через 2 года лаборатория получила второй орден Трудового Красного Знамени и ей было присвоено имя В. И. Ленина.

В 1924 г. лаборатория провела работу по коротким волнам и организовала коммерческую радиосвязь на коротких волнах Москва — Ташкент. В 1927 г. вместо старого передатчика станции имени Коминтерна Нижегородская радиолаборатория построила и установила новый передатчик мощностью в 35—40 *квт*. Наряду с научной работой лаборатория занималась и техническим оснащением хозяйства связи. В частности, по 1928 г. радиолаборатория установила в разных городах Союза 27 однокиловаттных радиовещательных станций, которые сыграли немалую роль в развитии советского радиовещания.

В 1928 г. Нижегородская радиолаборатория была переведена в Ленинград и влилась в промышленность.

Помимо М. А. Бонч-Бруевича в Нижегородской радиолаборатории с первых лет её существования работали и другие учёные, инженеры, конструкторы, деятельность которых заложила прочный, основательный фундамент советской радиотехники.

Пропаганде радиотехники, блестящим, увлекательным лекциям и докладам о радио, его достижениях и перспективах, подготовке новых кадров отдал свою жизнь один из научных руководителей Нижегородской радиолаборатории, современник А. С. Попова — Владимир Константинович Лебединский. Учёный, физик, радиоспециалист, ре-

дактор и основатель наиболее авторитетных советских радиожурналов, даровитый автор-популяризатор, создатель ряда радиотехнических дисциплин — такова краткая характеристика Владимира Константиновича. В дни, когда исполнилось 50 лет со дня изобретения радио А. С. Поповым, нужно подчеркнуть, что именно инициативе Владимира Константиновича принадлежит организация специальной комиссии из авторитетнейших учёных, переписка с Западом и документальное подтверждение бесспорного приоритета А. С. Попова, как изобретателя радио.

После Великой Октябрьской социалистической революции Владимир Константинович становится одним из организаторов и руководителей Нижегородской радиолаборатории, создаёт журнал «Телеграфия и телефония без проводов», который имел исключительное значение в организации школы советских радиоспециалистов, в повышении их знаний, развитии кругозора. Своевременное печатание работ советских авторов позволило впоследствии неоднократно подтвердить совпадение многих идей и высказываний наших специалистов в период блокады Советской России с высказываниями иностранных учёных. Журнал «ТиТбп» может быть по справедливости назван летописью советской радиотехники, так как по нему можно проследить развитие нашей радиотехнической мысли и те главные темы, на которых сосредоточивалось её внимание.

Параллельно с научной деятельностью Владимир Константинович много занимался педагогической работой как профессор советской высшей школы и общественной деятельностью как организатор съездов радиоспециалистов и съезда физиков.

Владимира Константиновича больше всего привлекала педагогическая и литературная работа. Он славился как блестящий лектор, умеющий так живо, глубоко и интересно осветить читаемый им предмет, что в наиболее сложных и трудных вопросах слушатель легко и свободно схватывал сущность, усваивал главнейшее содержание, понимал перспективы и значение излагаемой темы. Новатор в физике, в радиотехнике, в технической и общественной жизни и деятельности молодой советской страны — Лебединский оставил блестящее литературное наследство.

Работы В. К. Лебединского — свыше 150 научных статей, более 200 книг, автором или редактором которых был по-

койный — оставили свой незабываемый след в советской радиотехнике, послужили тем фундаментом, на котором учились и росли наши радиоспециалисты.

*

Вместе с В. К. Лебединским в Нижегородской радиолаборатории работал Дмитрий Аполлинариевич Рожанский. Это был учёный—физик, несколько десятилетий трудившийся в области теоретической радиотехники. Ещё в 1913 г. вышла в свет его книга «Электрические лучи», содержавшая физические основы радиотехники того времени. Дмитрий Аполлинариевич всегда глубоко интересовался вопросами радиотехники и постоянно вносил в разработку их много нового и оригинального. В доламповый период Рожанский провёл теоретическое и экспериментальное исследование роли искрового промежутка в режиме колебаний в контуре, которое явилось классической работой искровой радиотехники. От замкнутого контура Рожанский перешёл к открытому контуру — к антеннам. Его определение сопротивления излучения нашло своё дальнейшее развитие в современных методах расчётов сложных антенн.

Когда в радиотехнике появилась электронная лампа, Дмитрий Аполлинариевич занялся разработкой теории самовозбуждения, провёл как экспериментальное, так и теоретическое исследование самовозбуждения и опубликовал результаты этой работы. В дальнейшем короткие волны на долгое время стали основной темой работ Дмитрия Аполлинариевича. Методы генерации и стабилизации, разработанные им, применялись в коротковолновой связи периода 1924—1927 гг. От коротких волн (подразумевая под ними волны от нескольких десятков до нескольких метров) Рожанский последовательно перешёл к дециметровым и сантиметровым волнам, к новой технике генерирования их, к электронно-вакуумным приборам для этих диапазонов.

Занимаясь основными проблемами радиотехники, Дмитрий Аполлинариевич не забывал и физических проблем. При его участии разрабатывались наиболее крупные физические задачи в физико-техническом институте. Помимо научно-теоретической работы Рожанский занимался и педагогической деятельностью. Он не прерывал её после окончания курса слушателями, а продолжал руководить их подготовкой и в аспирантуре и в стенах лабораторий, где вместе с учителем работали много его учеников. Имен-

но в этой области руководства и обучения наших молодых научных кадров особенно проявлялся талант Рожанского. Его замечания и указания обогащали опыт молодого научного работника, побуждали его строже и вдумчивее относиться к собственным теоретическим и экспериментальным исследованиям.

*

Пионером работ в области ультракоротких волн в СССР является академик Борис Алексеевич Введенский. Эта область его деятельности началась в 1922 г. и с тех пор её развитие у нас во многом обязано Б. А. Введенскому и его школе.

Основным направлением работ Бориса Алексеевича явилось изучение распространения и излучения радиоволн, главным образом, укв диапазона. Борис Алексеевич детально изучил и исследовал распространение укв на относительно малых расстояниях. Для расчёта поля в этих условиях он дал так называемую «квадратичную» формулу значительно ранее, чем это было сделано за границей Эккерслеем.

Дальнейшее развитие работ привело Введенского к созданию дифракционного расчёта для больших расстояний, при которых необходимо учитывать влияние кривизны земли. Последние работы Бориса Алексеевича посвящены учёту влияния неоднородности тропосферы на распространение укв.

Широко известна монография Б. А. Введенского, написанная им совместно с А. Г. Аренбергом «Распространение укв». Не меньшей известностью пользуется и другая монография «Основы распространения радиоволн» — капитальный труд, подытоживающий весь материал по этой теме к 1934 году. В последнее время Введенский уделяет много внимания изучению распространения радиоволн в волноводах и написал совместно с Аренбергом монографию «Радиоволноводы». Б. А. Введенский руководит многочисленными экспериментальными и прикладными работами в области укв и секцией электросвязи Академии наук СССР.

*

Огромное влияние на советскую радиотехнику оказывала и оказывает школа советских радиофизиков, созданная академиком Леонидом Исааковичем Мандельштамом

вместе с академиком Николаем Дмитриевичем Папалекси.

Основные области научной деятельности Л. И. Мандельштама — физика колебаний, в частности радиоколебаний, и физическая оптика. С именем Мандельштама связаны многие важнейшие теоретические и технические успехи радиотелеграфии. Школа Мандельштама разработала новую, весьма трудную, но важную область радиофизики— нелинейные колебания. Нелинейные колебания давно встречались в физике и технике, но изучены до последних лет не были, вследствие математических трудностей и отсутствия теоретических методов. За разработку этой новой области смело взялся Мандельштам, и его учение, помимо ряда важных прикладных результатов (новые методы приёма радиоволн, возможность создания новых электрических машин, способ измерения расстояний с помощью радио), явилось новой областью теории радиотехники. Уже первые работы двух учёных друзей Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси — измерение логарифмического декремента затухания—обратили на себя всеобщее внимание радиоспециалистов и с этой поры началась длительная плодотворная работа и научное содружество двух крупнейших советских радиофизиков. Многим обязана Папалекси и советская радиопромышленность, развитию и становлению которой он продолжительное время отдавал свои силы и знания.

*

Ещё с периода работы в радиотелеграфном депо Морского ведомства определилась специализация Валентина Петровича Вологдина, ныне члена-корреспондента Академии наук СССР. Вместе с группой радиоспециалистов он начал разработку русских радиостанций. Для них требовались машины высокой и повышенной частоты. На обращение с заказом «Русское отделение общества Сименс и Гальске» снисходительно сообщило, что разработка и постройка машины с частотой 60 *кгц* и мощностью в 2 *квт* будет стоить 200 000 рублей. Вологдин решил сам взяться за разработку и постройку этой машины, которая по его подсчётам должна стоить не более 7000 рублей. Разработан проект, готовы чертежи, но ни одна из «русских» радиофирм — ни РОБТиТ (фактически Маркони), ни «Си-

менс и Гальске» не принимают заказа на изготовление частей. Они умышленно хотят сорвать это начинание, закрепить свою монополию на машины высокой частоты. Валентин Петрович использует небольшой полукустарный электромеханический завод Глебова. Все трудности благополучно разрешены: не только построена машина высокой частоты, но и налажен выпуск машин повышенной частоты. Тем временем конструктор разрабатывает новые машины, улучшает их конструкцию, повышает частоту и мощность.

Перед Великой Октябрьской социалистической революцией был закончен проект 50-*квт* машины частотой 20 *кгц*. После Октября Вологдин перешёл в Нижегородскую радиолабораторию и здесь начал строительство своей машины. Он разработал для неё новые методы изоляции обмотки якоря, наладил производство высокочастотного железа на заводах Урала.

Одновременно для питания радиостанций разрабатываются конструкции высоковольтных выпрямителей на ртутных лампах, создаётся теория их работы и проектирования.

В 1921 г. 50-*квт* машина высокой частоты закончена, испытана и осенью монтируется на Ходынской радиостанции в Москве, приняв на себя всю большую нагрузку радиосвязи с отдалёнными районами страны и с заграницей. Одновременно разрабатывается машина на 150 *квт*, которая впоследствии также была установлена на Ходынке. Много лет эти машины обеспечивали связь Советской страны как внутри Союза, так и с зарубежными корреспондентами.

Через 2 года Вологдин перешёл на работу в Трест заводов слабого тока. Начался новый этап его деятельности — участие в создании советской радиопромышленности, объединение заводов, реконструкция их, налаживание производства. Одновременно Валентин Петрович работает в Центральной радиолаборатории треста и ведёт подготовку научных работников, исследователей.

Через несколько лет из лаборатории Вологдина вышли печи высокой частоты для высококачественной плавки металлов; разработана теория и практика применения индукционных печей. Ещё через несколько лет лаборатория выпускает новую конструкцию аппаратуры для поверх-

ностной закалки металлических изделий — шестерён, колёс, рельсов и других частей, поверхность которых испытывает усиленное трение и поэтому быстро изнашивается. Разработав идею поверхностной закалки, Вологдин создаёт и различные конструкции аппаратуры для закалки изделий самого разнообразного профиля и назначения.

*

Приведённый выше перечень работ и достижений русских учёных — основателей советской радиотехники — охватывает лишь начальный период и период возникновения советской радиотехники. В нём упомянуты лишь работы пионеров-основателей той или иной области радиотехники в СССР.

Последующий период — период становления советской радиотехники — насчитывает блестящую плеяду современников — учёных, инженеров, конструкторов, благодаря работам которых советская радиотехника достигла её современного состояния.

Канд. техн. наук С. И. НАДЕНЕНКО

ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ И ПРОБЛЕМЫ РОСТА РАДИОСВЯЗЕЙ

За исторически короткий промежуток времени радиотехника в электросвязи одержала ряд блистательных побед и прочно вошла в мировое хозяйство как важнейшее средство комплексной радиопроводной связи.

Сотни телеграфных, телефонных и фототелеграфных линий радиосвязи «пересекают» океаны и континенты по всем направлениям земного шара, связывая пункты, отстоящие на 10 000 и более километров друг от друга. Реализованы возможности передачи изображений на большие расстояния. Организованы линии радиосвязи с подвижными объектами. Радиосвязь широко используется в эксплоатации средств железнодорожного, водного, воздушного и безрельсового транспорта. Эксплоатируются специальные линии связи для телемеханического управления электростанциями, машинами, приборами и т. д.

Развитие радиосвязи не на всех этапах протекало гладко, безболезненно и равномерно. Оно сопровождалось периодами тяжёлых сомнений, периодами борьбы и кризисов. Это были болезни роста, преодоление которых сообщало молодой отрасли техники новые силы для развития и роста.

Современное состояние радиосвязей характеризуется как раз наличием серьёзных трудностей. Существующие, освоенные и хорошо известные методы радиосвязи уже начинают лимитировать рост радиохозяйства. Одним из таких лимитирующих факторов является переуплотнение

«эфира». Открытие новой связи, установка новой станции вызывают порой большие затруднения, обусловленные отсутствием свободных каналов.

Согласно статистическим данным Международного союза электросвязи[1] к концу 1940 г. мировое радиохозяйство имело около 7000 зарегистрированных каналов связи (номинальных волн) и 36 463 зарегистрированные рабочие волны.

Рост числа каналов и рабочих волн за 10 лет представлен на рис. 1. Кривые, приведённые на этом рисунке, характеризуют лишь общий рост использования радиоканалов, но не дают представления о неравномерности использования отдельных диапазонов волн.

На рис. 2 показано использование каналов в диапазоне длинных волн (3000 ÷ 30 000 *м*). Здесь число каналов и рабочих волн на протяжении 10 лет остаётся стабильным и близким к насыщению. На канал связи приходится средняя полоса частот в 326 *гц*, а на рабочую волну 242 *гц*, что является едва удовлетворительным для телеграфирования незатухающими колебаниями на малых скоростях.

Кривые для диапазона волн 550÷3000 *м* даны на рис. 3. В этом диапазоне на каждый канал приходится средняя полоса в 840 *гц*, а на рабочую волну полоса в 102 *гц*.

На рисунках 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 даны аналогичные кривые для диапазонов волн 193÷550, 100÷193, 50÷100, 15÷50, 10÷15 и 1÷10 *м*.

Итоговые характеристики использования каналов и рабочих волн в конце 1940 г. сведены в табл. 1.

Статистические данные Международного союза электросвязи, по всей вероятности, лишь приближённо отражают истинное положение вещей. Последние предвоенные годы характеризуются исключительно быстрым ростом радиовооружения современных армий и использованием радиосредств на военные нужды. Поэтому фактическое число станций, вероятно, значительно превосходит число зарегистрированных, что ещё более усугубляет переуплотнение каналов.

Анализ приведённых данных о росте мирового радиохозяйства позволяет сделать следующие выводы:

---

[1] Iournal des Telecommunications № 10; Oct. 1940 г.

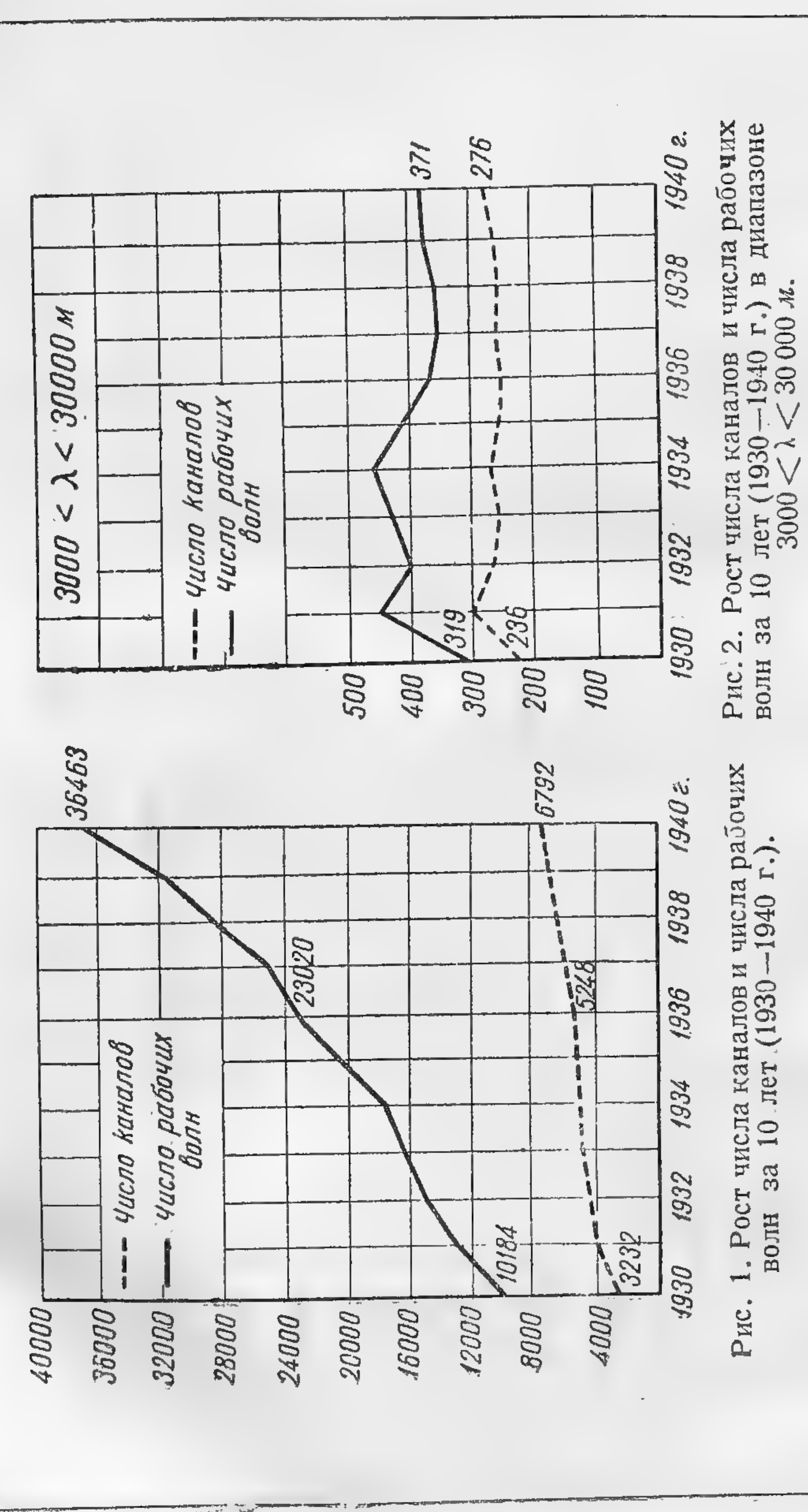


Рис. 1. Рост числа каналов и числа рабочих волн за 10 лет (1930—1940 г.).

Рис. 2. Рост числа каналов и числа рабочих волн за 10 лет (1930—1940 г.) в диапазоне $3000 < \lambda < 30\,000$ *м*.

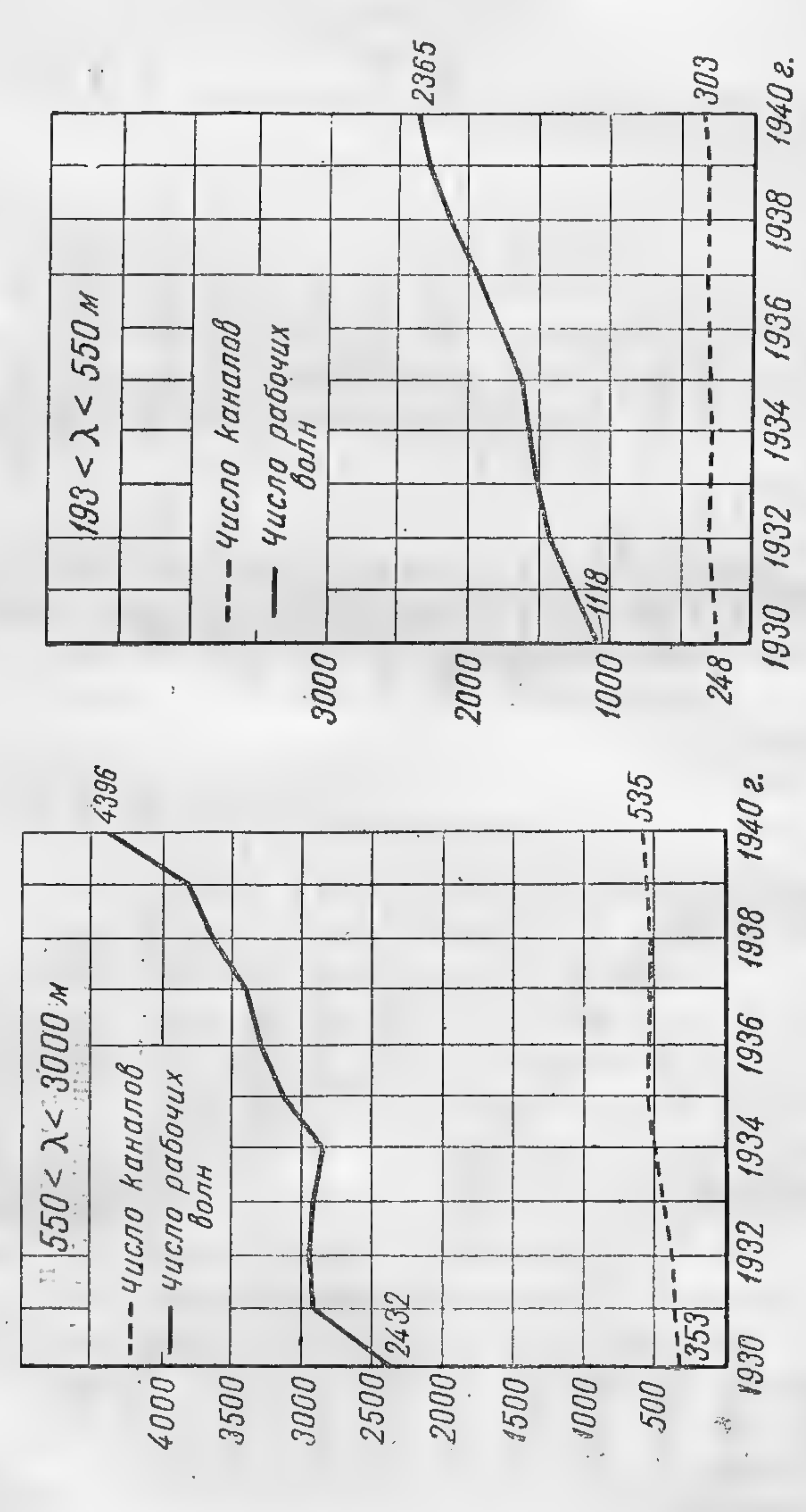


Рис. 3. Рост числа каналов и числа рабочих волн за 10 лет (1930—1940 г.) в диапазоне 550 < λ < 3000 м.

Рис. 4. Рост числа каналов и числа рабочих волн за 10 лет (1930—1940 г.) в диапазоне 193 < λ < 550 м.

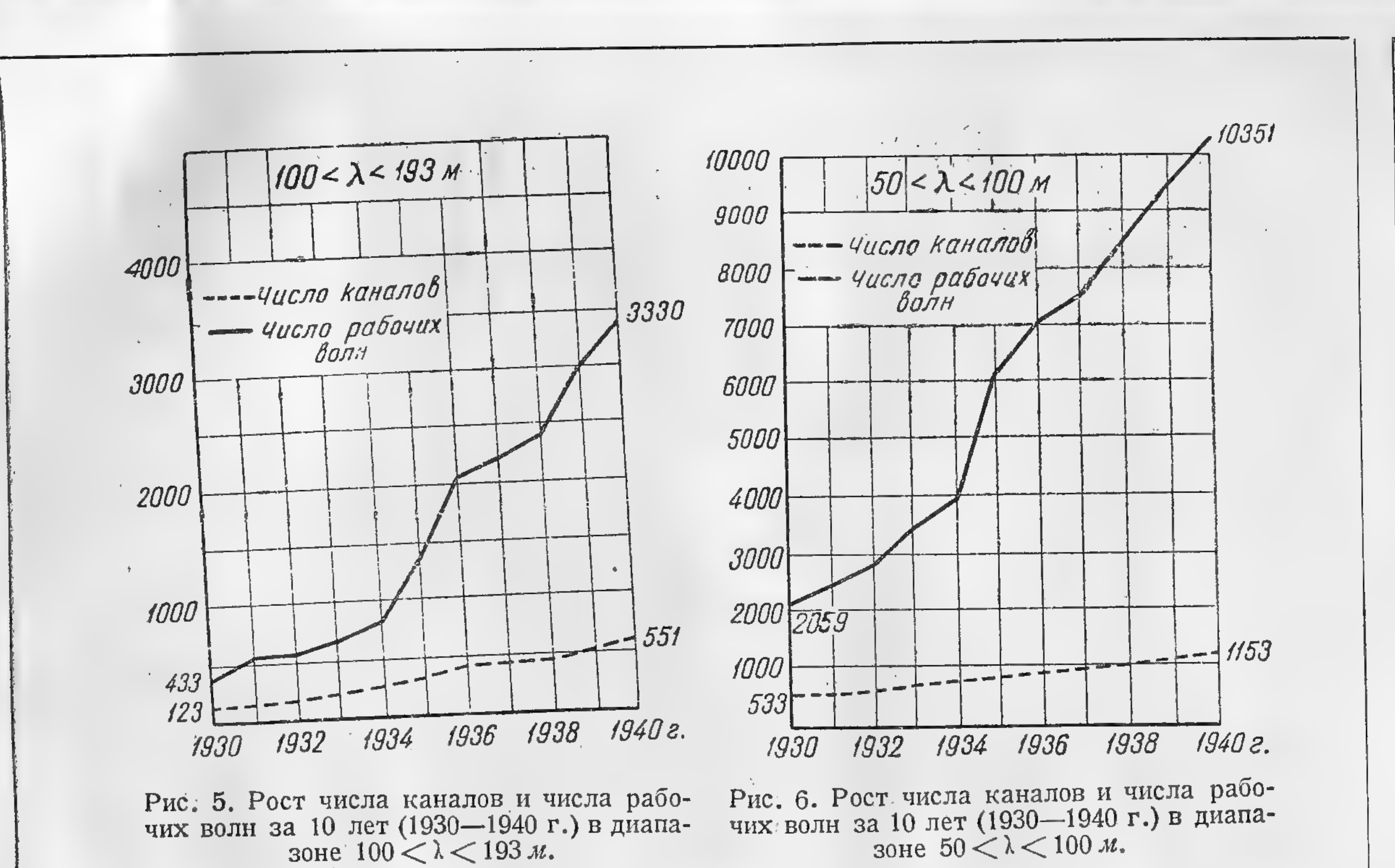


Рис. 5. Рост числа каналов и числа рабочих волн за 10 лет (1930—1940 г.) в диапазоне $100 < \lambda < 193$ *м*.

Рис. 6. Рост числа каналов и числа рабочих волн за 10 лет (1930—1940 г.) в диапазоне $50 < \lambda < 100$ *м*.

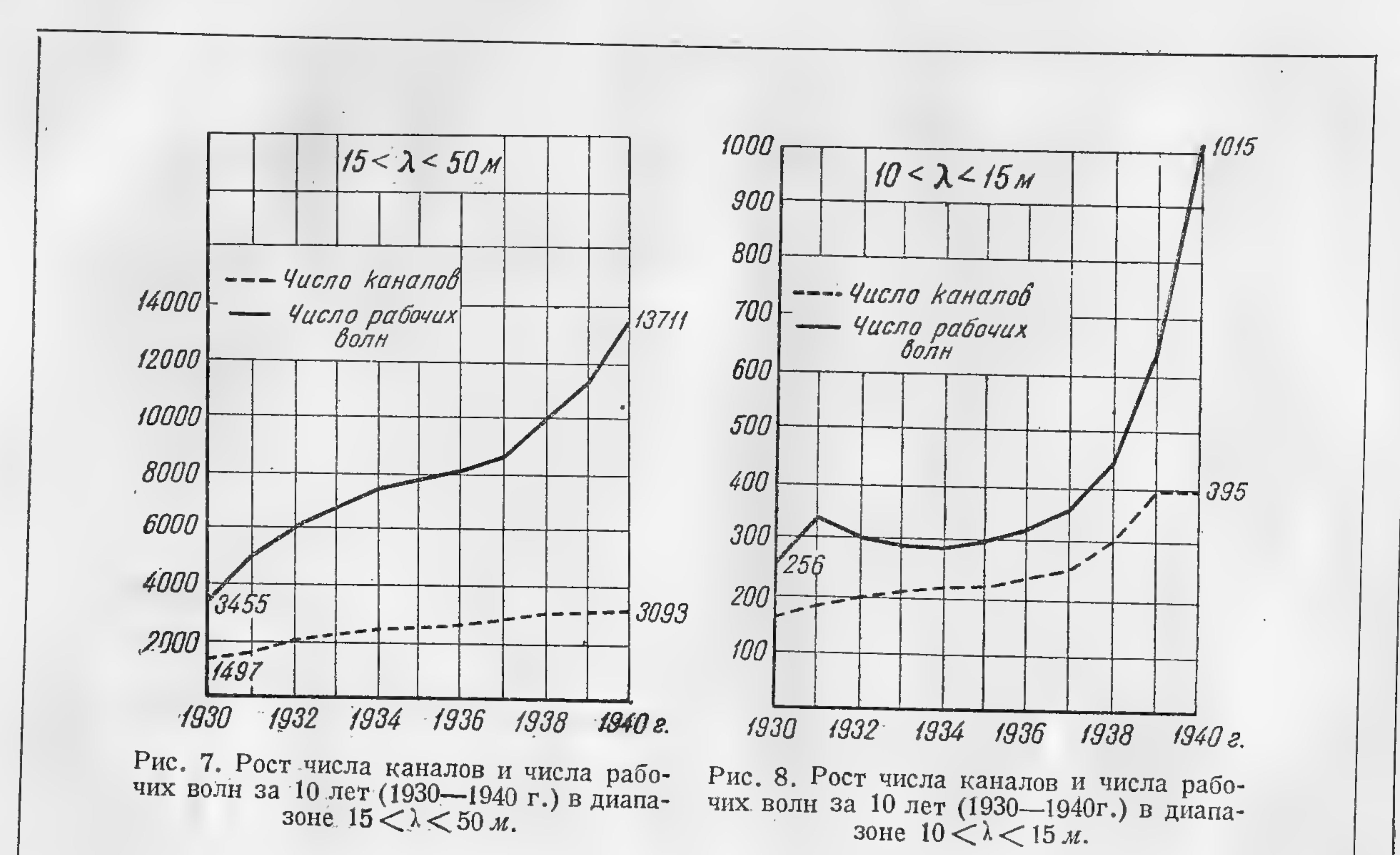


Рис. 7. Рост числа каналов и числа рабочих волн за 10 лет (1930—1940 г.) в диапазоне $15 < \lambda < 50$ *м.*

Рис. 8. Рост числа каналов и числа рабочих волн за 10 лет (1930—1940г.) в диапазоне $10 < \lambda < 15$ *м.*

1. Отмечается неравномерность роста числа радиоканалов в разных диапазонах волн. Использование диапазона волн 3000÷30 000 *м* не увеличилось, зато число зарегистрированных рабочих волн в диапазонах 100÷193 *м* и 1÷10 *м* выросло за 10 лет в 10 раз.

Таблица 1

Диапазон волн в *м*	Ширина полосы частот диапазона в *гц*	Число каналов в диапазоне	Средняя полоса частот на канал в *гц*	Число рабочих волн в диапазоне	Число рабочих волн в канале	Средняя полоса частот на рабочую волну в *гц*
3000÷30 000	90 000	276	326	371	1,34	272
550÷ 3 000	450 000	535	840	4 396	8,22	102
193÷ 550	1 000 000	303	3 300	2 365	7,80	425
100÷ 193	1 450 000	551	2 630	3 330	6,05	435
50÷ 100	3 000 000	1153	2 600	10 351	8,98	290
15÷ 50	14 000 000	3093	4 650	13 711	4,45	1 030
10÷ 15	100 000 000	395	25 300	1 015	2,57	9 900
1÷ 10	270 000 000	475	568000	904	1,90	300000

2. Использование каналов в разных диапазонах волн происходит неравномерно. Наиболеее использованными оказываются диапазоны коротких и промежуточных волн (50÷100 *м*), в которых на одну номинальную волну (один канал) приходится в среднем до 9 рабочих волн. Некоторые каналы особенно переуплотнены, что видно из табл. 2.

Таблица 2

Канал	1079	800	706	625	600	250	248	229	219	200	113	88	75	60	40	36
Число рабочих волн в канале	78	109	105	99	208	85	82	79	82	99	71	83	84	63	97	59

3. Средняя полоса частот на канал и на рабочую волну явно недостаточна для работы без взаимных помех во всех диапазонах волн длиннее 15 *м*. Только для волн 10÷15 *м* наблюдается относительное благополучие. Мало-

использованным остаётся пока диапазон ультракоротких волн, где на каждую рабочую волну приходится в среднем полоса в 300 000 *гц*.

4. Особенно быстрый рост отмечается в последние, предвоенные, годы в диапазоне дециметровых волн (300 %

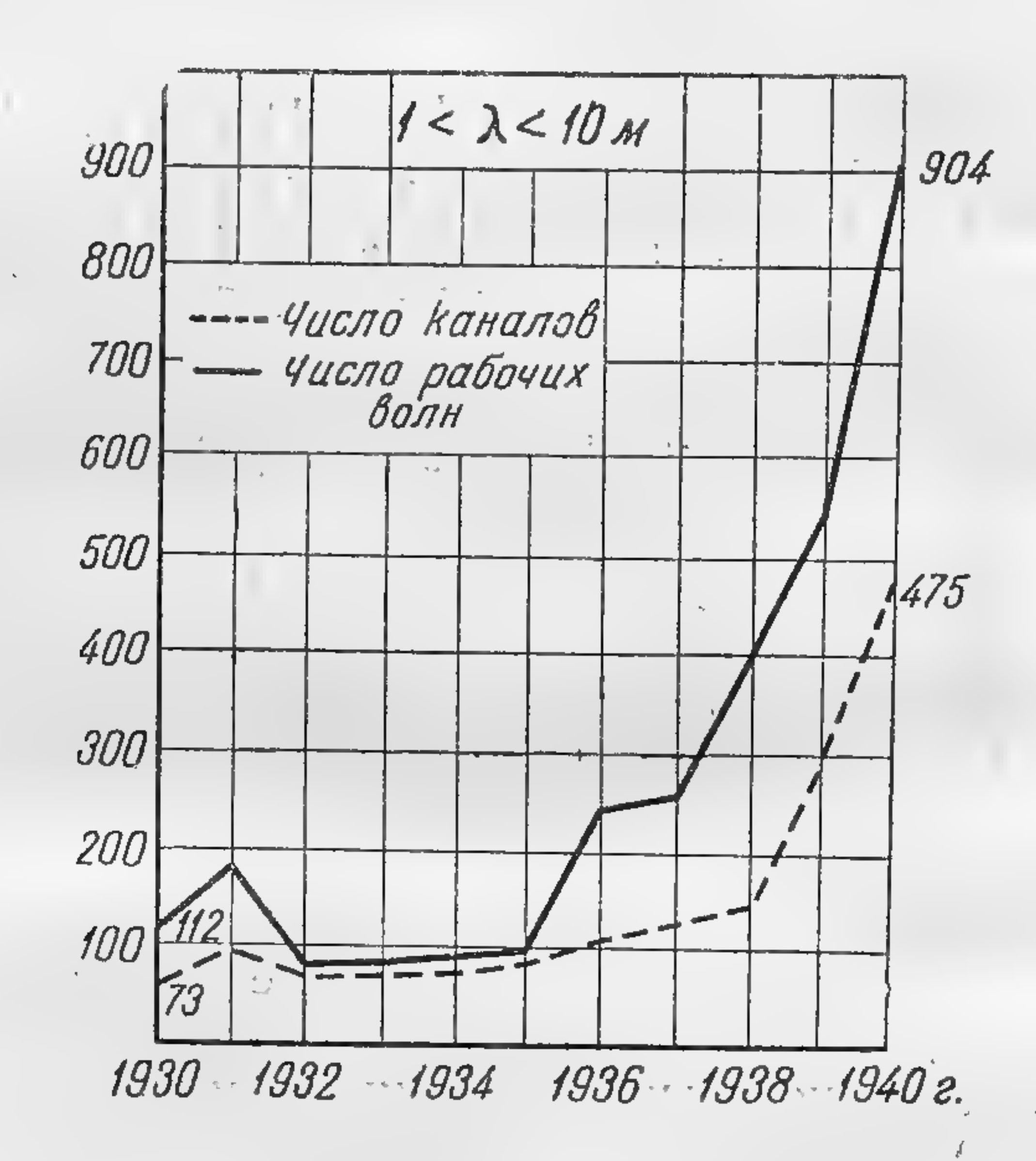


Рис. 9. Рост числа каналов и числа рабочих волн за 10 лет (1930—1940 г.) в диапазоне $1 < \lambda < 10$ *м*.

прироста за 1939 г.) и в диапазонах 1 ÷ 10 и 10 ÷ 15 *м* (70 % прироста за год).

Усилия многих учёных и техников во всех странах мира направлены на изыскание способов, позволяющих расширить техническую базу радиосвязей, и на разработку организационно-технических мероприятий, открывающих возможности дальнейшего развития радиосвязей и радиовещания.

В данное время намечается два общих пути решения этих задач:

1) освоение новых диапазонов волн и перевод в них ряда служб;

2) разработка методов, улучшающих использование каналов в освоенных, переуплотнённых диапазонах волн.

Первый путь — освоение новых диапазонов волн, привёл уже к вполне реальным результатам, что отчасти нашло отражение в приведённых выше данных (кривые рис. 9 и 10). Современная радиотехника овладела совершенными методами генерации, излучения и приёма волн длиной от 0,75 *см* до 30 000 *м* (частоты от $2 \cdot 10^4$ до $4 \cdot 10^{10}$ *гц*). История борьбы за овладение спектром частот в электросвязи представлена диаграммой на рис. 11.

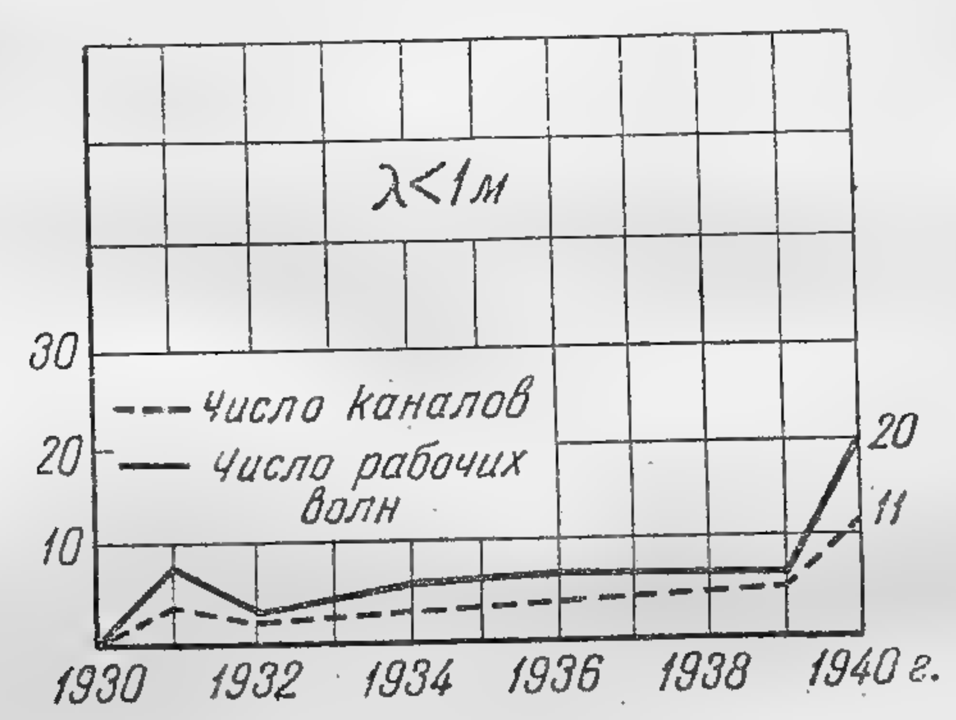


Рис. 10. Рост числа каналов и числа рабочих волн за 10 лет (1930—1940 г.) в диапазоне волн короче 1 *м*.

Замечательными вехами на этом славном пути являются:

1886—1888 г. — опыты Герца с волнами 6 *м* и 60 *см*.

1895 г. 7 мая — демонстрация А. С. Попова.

1895—1918 гг. — развитие длинных волн ($\lambda > 3000$ *м*).

1919—1924 гг. — строительство вещательных станций в диапазоне волн 200 ÷ 2000 *м*.

1925 г. — начало эры коротких волн (10÷50 *м*).

1933 г. — открытие первой телефонной и буквопечатающей связи (телетайп) на волне 18 *см* через Ламанш.

1935—1940 гг. — открытие ряда многоканальных радиосвязей общего пользования на ультракоротких волнах, на расстояниях до 350 *км* с ретрансляциями, и начало эксплоатации телевизионных станций.

Освоение ультракоротковолнового диапазона поможет решить задачу разуплотнения каналов радиосвязи только при проведении ряда организационных мероприятий по перестройке системы радиосвязей и радиовещания. В частности, большой эффект обещают:

1) организация местного многопрограммного вещания в крупных городах и внутри области на ультракоротких волнах,

2) организация дальних (500÷1000 *км)* радиосвязей на ультракоротких волнах с ретрансляциями,

3) перевод на ультракороткие волны всех низовых радиосвязей, производственных радиосвязей, с радиусом

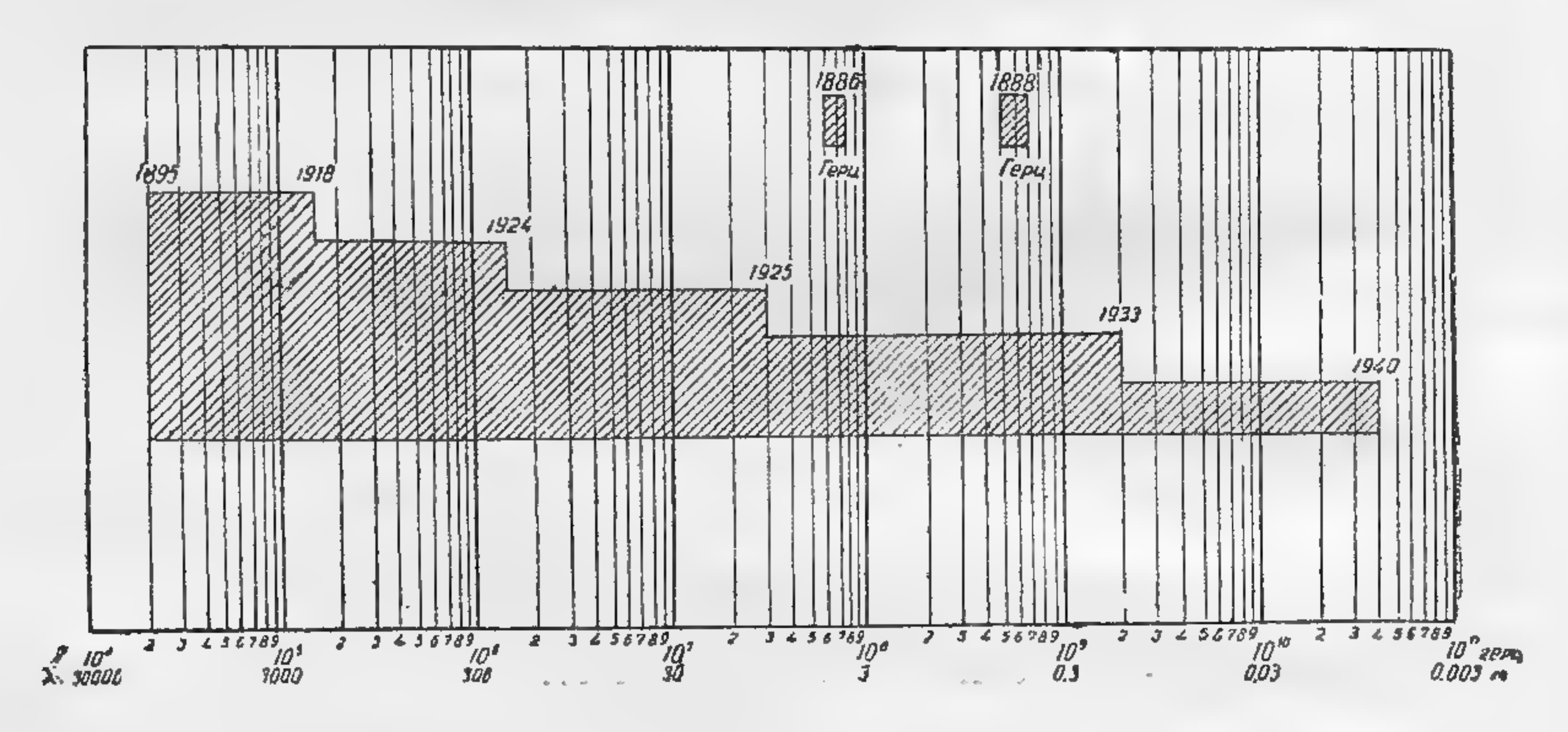


Рис. 11. Диаграмма использования спектра частот в радиосвязи.

действия менее 100 *км,* всех специальных навигационных служб с малым радиусом действия и всех внутригородских радиосвязей (пожарных, милицейских и т. д.).

Второй путь — путь улучшения использования канала в освоенных эксплоатацией диапазонах частот—требует решения ряда самостоятельных задач, главнейшими из которых являются:

1) разработка и освоение помехоустойчивых систем радиосвязи,

2) многократное использование радиоканала,

3) синхронная работа радиостанций,

4) повышение скоростей телеграфирования.

Некоторые из этих задач имеют готовые, проверенные технические решения, другие находятся в стадии разработки, третьи требуют не только технического решения, но и проведения серьёзных организационных мероприятий [1].

---

[1] См. статью В. С. Мельникова и И. И. Теумина «Перспективы развития помехоустойчивых систем радиотелеграфной связи», напечатанную в настоящем сборнике.

Канд. техн. наук М. П. ДОЛУХАНОВ

РАЗВИТИЕ УЧЕНИЯ О РАСПРОСТРАНЕНИИ РАДИОВОЛН

ОБЩИЕ ТЕОРИИ

В течение почти всего 19-го столетия физики считали, что свет представляет собой явление распространения волн в особой гипотетической, идеально упругой среде, которую условно называли «эфиром». В 1873 г. Максвелл закончил работу над созданием электромагнитной теории света. В этой работе Максвелл путём теоретических рассуждений показал, что при всяком изменении во времени электрического или магнитного поля, в окружающем пространстве возникают электромагнитные волны, обладающие всеми свойствами света. Это обстоятельство и некоторые другие соображения дали основание Максвеллу утверждать, что свет также представляет собой электромагнитные волны, частота которых заключается в интервале от $4 \cdot 10^{14}$ до $7{,}5 \cdot 10^{14}$ пер/сек.

Взгляды Максвелла не разделялись учёными того времени. И только после того, как в 1888 г. Герцу удалось искусственно создать электромагнитные волны и экспериментально доказать, то они действительно подчиняются всем законам видимого света, учение Максвелла получило всеобщее признание.

В конце прошлого века «лучи Герца», как тогда называли радиоволны, были модным разделом физики. Над повторением опытов Герца работали выдающиеся учёные. Не остался в стороне от нового открытия и А. С. Попов,

тогда преподаватель физики в офицерских классах при минной школе в г. Кронштадте. С начала 1895 г. А. С. Попов приступил к усовершенствованию аппаратуры, которой пользовались Герц и его последователи, с целью сделать её удобной для лекционного демонстрирования свойств электромагнитных волн.

Во время работы над регистрирующим устройством А. С. Попов обнаружил способность устройства реагировать на атмосферные разряды. Докладывая на заседании физического отделения Русского физико-химического общества 7 мая 1895 г. о построенном им грозоотметчике, А. С. Попов указал, что его прибор при дальнейшем усовершенствовании может быть применён для передачи сигналов на расстоянии. Менее чем год спустя, 24 марта 1896 г., на заседании Русского физико-химического общества Попов наглядно демонстрирует возможность такой передачи.

Сама последовательность событий, приведших Попова к изобретению радио, неизбежно заставляла его считать, что законы распространения электромагнитных волн, которые он предложил применять в качестве средства связи, не должны отличаться от законов распространения света. В частности, Попов должен был основываться на прямолинейности распространения электромагнитных волн, что подтверждается высказываниями изобретателя радио, относящимися по времени к первым опытам по беспроволочной связи. Так в отчёте об опытах по электрической сигнализации без проводов на судах Учебного Минного Отряда в летнем плавании 1897 г., в составлении которого принимал участие А. С. Попов, прямо говорится: «Нужно, чтобы от вибратора была видна приёмная проволока». В описании опытов в лето 1899 г. в Чёрном море констатируется отсутствие связи между крейсером «Капитан Сакен», стоявшим в глубине Балаклавской бухты, и эскадрой, проходившей в открытом море мимо бухты, когда горы препятствовали прямой видимости.

С первого взгляда могло показаться, что такая общность в свойствах видимого света и лучей Герца в значительной мере умаляла преимущества нового средства связи, по сравнению с применявшимися уже в то время оптическими методами сигнализации. Однако, если учесть, что в своих первых опытах по беспроволочной связи

А. С. Попов применял волны порядка сотен метров, которые: 1) легко проходили сквозь непрозрачные для видимого света диэлектрики и даже небольшие по толщине полупроводники, 2) свободно, без поглощения, распространялись в атмосфере, как во время тумана, так и в условиях плохой видимости (дождь, мгла, дымка), 3) могли излучаться и приниматься с помощью вертикальных антенн, подвешиваемых на высоких мачтах, или поддерживаемых змеями, которые значительно увеличивали дальность прямого видения, и, наконец, 4) в силу дифракции могли огибать небольшие по размерам препятствия в виде отдельных строений, деревьев, холмов и т. п., — то преимущества нового средства связи по сравнению с оптическими методами сигнализации сделаются очевидными. Эти преимущества становятся ещё более явными, если обратить внимание на специфические недостатки оптической сигнализации (флажной или с источниками света), при которой для увеличения дальности связи, даже в условиях хорошей видимости, необходимо помещать приборы связи и наблюдения, а иногда и самих сигнальщиков на мачтах большой высоты, что обычно гораздо сложнее, чем установка высоких антенн.

Большой интерес представляет замечание А. С. Попова, сделанное им в статье «Телеграфирование без проводов» (Физико-математический ежегодник, вып. 1, 1900 г.) о роли заземлённой вертикальной антенны, как источника электромагнитных волн, которое мы приводим дословно: «Что касается характера возмущений, произведённых таким электрическим колебанием, то можно ожидать, что они сохранят отчасти вид волн, возбуждённых герцовым вибратором с вертикальной осью. Несомненно, что к этим возмущениям присоединяются ещё возмущения, идущие по поверхности земли, так сказать, волны на поверхности уровня электростатического потенциала земли, о чём свидетельствует необходимость соединения через трубку с землёю приёмного провода на станции и ослабляющее действие сравнительно низких предметов, встречающихся на пути колебаний, например, леса и мелких судов с металлической оснасткой».

Основные данные, характеризующие установленные А. С. Поповым первые по времени линии радиосвязи, приведены в табл. 1. В последней графе этой таблицы указа-

ны дальности прямой видимости, рассчитанные по высотам применявшихся антенн.

Таблица 1

ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ ПЕРВЫХ ЛИНИЙ РАДИОСВЯЗИ, УСТАНОВЛЕННЫХ А. С. ПОПОВЫМ

Дата	Конечные пункты линии	Высоты антенн в *м*		Длина линии в *км*	Расстояние прямой видимости в *км*
		h_1	h_2		
Май 1897	Стенка Кронштадтской гавани—баркас «Рыбка»	—	9	0,7	больше 15
Июль 1897	Остров Тейкар-Сари — баркас «Рыбка»	18	9	2,8	26
Июль 1897	Остров Тейкар-Сари—крейсер «Африка»	18	20	5,3	31
Июль 1897	Транспорт «Европа»—крейсер «Африка»	16	20	5,3	30
Июль 1898	Остров Тупаран-Сари—крейсер «Африка»	—	20	8,5	больше 30
Август 1899	Броненосец «Георгий Победоносец» — броненосец «Три Святителя»	34	—	16,4	больше 30
Август 1899	Броненосец «Георгий Победоносец» — крейсер «Капитан Сакен»	34	18	25	35
Август 1899	Броненосец «Георгий Победоносец» — крейсер «Капитан Сакен»	100[1]	18	29	51
Декабрь 1899	Остров Гогланд — Котка . . .	18	56	44	42

Данные таблицы показывают, что проводившиеся Поповым первые опыты по установлению беспроволочной связи в первом приближении не противоречили представлениям о прямолинейности распространения радиоволн.

Маркони, который придал эксплоатации беспроволочного телеграфа коммерческий характер, имел возможность собрать материал по беспроволочной связи на большем числе линий, некоторые из которых уже в конце 1900 г. достигали 300 *км* и повидимому заметно превышали дальность прямого видения[2].

[1] Антенна была поднята на змее.

[2] В нашем распоряжении нет точных данных о высоте антенн, применявшихся на этих линиях.

Ободрённый успехами беспроволочной связи на расстояниях, превышающих дальность прямого видения, Маркони стремился любой ценой добиться практически важного результата. И может быть известная интуиция и техническая смелость подтолкнули его предпринять в конце 1901 г. попытку установить беспроволочную связь через Атлантический океан. В свете представлений того времени о законах распространения электромагнитных волн эта попытка была обречена на безусловный провал, ибо не было почти никаких оснований надеяться, что на таком большом расстоянии электромагнитные волны будут огибать выпуклую поверхность земли. Мы говорим «почти», так как надежда на успех всецело основывалась на том, тогда необъяснимом факте, что на расстояниях порядка 300 *км*, превышающих дальность прямого видения, электромагнитные волны позволяли поддерживать связь.

Находясь в Нью-Фаундленде (Канада) Маркони 12 декабря 1901 г. услышал в телефоне приёмника сигнал S, переданный по азбуке Морзе станцией Полдью, находящейся в юго-западной Англии на расстоянии 3700 *км* от Нью-Фаундленда.

Если установление беспроволочной связи на расстояниях, лишь незначительно превышающих дальность прямого видения, можно было объяснить небольшими отступлениями от основного закона оптики, то после установления трансатлантической связи пришлось искать другого объяснения.

Для объяснения факта огибания электромагнитными волнами поверхности земного шара различные авторы предложили несколько гипотез. Мы остановимся здесь только на трёх из них, так как остальные не выдерживали сколько-нибудь серьёзной критики.

Рэйли, повидимому один из первых, указал, что огибание электромагнитными волнами поверхности земли можно объяснить дифракцией волн вокруг земного шара. Проблема дифракции к тому времени была исследована многими учёными для большого числа частных случаев, но, к сожалению, дифракция вокруг шара, когда источник волн расположен на поверхности самого шара, не рассматривалась. Как показали Рэйли, Мак-Дональд и многие другие, вычисление поля электромагнитной волны, дифрагирующей вокруг шара, сопряжено с разрешением больших

математических трудностей. Преодолеть эти трудности в короткий срок не удалось, и поэтому решение вопроса о роли дифракции в огибании радиоволнами поверхности земли пришлось отложить на неопределённый срок.

В стремлении как-то объяснить огибание радиоволнами поверхности земли отдельные учёные (например, Кибитц) высказывали мысль, что в рассматриваемом явлении известную роль играют электромагнитные волны, распространяющиеся в толще земли и, следовательно, неизбежно следующие её кривизне. Элементарный расчёт, однако, показывает, что в проводящей поверхности земли радиоволны затухают настолько быстро, что их нельзя привлечь для объяснения распространения на большие расстояния.

Третья гипотеза была высказана почти одновременно Кеннелли в США и Хевисайдом в Англии. В американском популярном журнале «Electrical World» Кеннелли в марте 1902 г. поместил короткую заметку, в которой указывалось, что «электромагнитные волны при своём распространении над поверхностью океана через эфир и атмосферу, отражаются её электропроводящими слоями». Английский ученый Хевисайд в 33 томе «Encyclopaedia Britannica», вышедшем в свет в декабре 1902 г., касаясь последних достижений беспроволочной телеграфии, отметил: «...в верхних слоях атмосферы возможно существование проводящего слоя. Если это так, то волны будут им более или менее задерживаться. Тогда эти волны будут, с одной стороны, направляться морем, а с другой—этими верхними слоями атмосферы.»

В течение ряда лет, следовавших за установлением трансатлантической радиосвязи, наиболее вероятной причиной приёма считалась всё же дифракция, хотя бы потому, что наблюдения за силой приёма показывали увеличение силы сигналов по мере увеличения длины волны, в соответствии с общими положениями дифракционной теории.

По мере накопления материалов по радиосвязи на большие расстояния наблюдатели и персонал, обслуживавший линии связи, стали обращать внимание на существование связи между силой приёма сигналов и освещённостью. В диапазоне длинных и средних волн сила приёма ночью была, как правило, выше, чем днём. В зимние

месяцы сила сигналов в среднем была также больше, чем в летние. Всё это указывало на несомненное влияние солнечной освещённости на условия распространения радиоволн. Погода, как было установлено многочисленными наблюдениями, в том числе самим Поповым, на силу сигналов непосредственно не влияла. Полагать, что под действием солнечного освещения сколько-нибудь изменяются электрические свойства почвы и нижних слоёв атмосферы также не было оснований. Поэтому оставалось предположить, что солнечные лучи влияют на верхние слои атмосферы, которые и принимают участие в распространении радиоволн. Наконец, было сделано заключение, что радиоволны просто отражаются от наэлектризованной (ионизированной) области в верхних слоях атмосферы, причём степень ионизации определяется интенсивностью солнечного излучения. При попытке установления приоритета в таком объяснении были обнаружены упомянутые выше высказывания Кеннелли и Хевисайда. Именно по этой причине ионизированная область атмосферы долгое время называлась «слоем Кеннелли-Хевисайда». Общепринятое теперь название «ионосфера» было введено значительно позднее.

В 1912 г. Икклз разработал элементарную теорию преломления и отражения радиоволн в ионизированной атмосфере. С этого времени для объяснения механизма распространения радиоволн на большие расстояния к услугам исследователей имелись две гипотезы: дифракционная и ионизированного слоя. Установить роль и значение этих гипотез для изучения распространения радиоволн было пока невозможно, так как ни одна из них не была доведена до такой степени совершенства, которая позволила бы определить численные значения напряжённости поля сигналов в месте приёма.

В 1918 г. английский математик Ватсон добился первого успеха в разрешении проблемы дифракции. На основе работы Ватсона Ван-дер-Поль дал формулу, пользуясь которой можно с известным приближением вычислить напряжённость поля в месте приёма. Когда в эту формулу были подставлены параметры одной из линий радиосвязи между Англией и США, то оказалось, что напряжённость поля, обусловленная дифракцией, в десятки тысяч раз меньше действительного значения, измеренного

с помощью радиокомпараторов. Это послужило поводом для несколько поспешного заключения о том, что дифракция вообще не имеет практического значения для огибания радиоволнами земного шара. Последующие исследования показали, что дифракция может быть причиной огибания земли на небольших удалениях от передатчика.

До 1924 г. радиосвязь осуществлялась на длинных (3000 ÷ 25 000 *м*) и средних (200 ÷ 3000 *м*) волнах, причём для связи на большие расстояния применялись почти исключительно длинные волны. Зависимость напряжённости поля от расстояния при известных мощности излучения и длине рабочей волны определялась по полуэмпирической формуле, установленной в 1909 и 1910 гг. Остином в результате обработки наблюдений за прохождением длинных волн на большие расстояния. Теоретическая часть формулы Остина соответствует предположению, что радиоволны распространяются между двумя концентрическими проводящими поверхностями, одной из которых является поверхность земли, а второй — ионизированная область в атмосфере. Эмпирическая часть формулы характеризует испытываемое волнами поглощение в пути. Формула Остина, впоследствии усовершенствованная Коэном, вполне удовлетворяла практические инженерные запросы того времени.

В 1924 г. Лармор значительно усовершенствовал теорию преломления радиоволн в ионизированной атмосфере, подчеркнув особое значение свободных электронов. В том же 1924 г. произошло значительной важности событие: было окончательно установлено большое практическое значение для радиосвязи коротких волн, т. е. волн, лежащих в диапазоне от 10 до 200 *м*.

Этому предшествовали следующие обстоятельства. После окончания первой мировой войны и демобилизации американской армии в распоряжении правительства США оказался довольно большой запас радиоаппаратуры, главным образом, полевых радиостанций. Правительство нашло возможным распродать этот запас. Основными покупателями явились молодые люди—бывшие офицеры и солдаты частей связи, овладевшие основами радиотехники и получившие «вкус» к работе на радиостанциях. Муниципальные власти не чинили препятствий к установлению радиостанций у частных лиц и развитию радиолюбительской

связи. Единственным поставленным условием было использование волн короче 200 *м*, поскольку эти волны вследствие большого их поглощения не применялись правительственными станциями.

Используя волны короче 200 *м*, любители вскоре установили связи на расстояниях, значительно превышающих дальность связи, вычисленную по формуле Остина. Так, в декабре 1921 г. сигналы американских любительских станций были приняты на западном побережье Шотландии. В 1922 г. была установлена двусторонняя связь между Европой и Америкой, а осенью следующего, 1923 г. коротковолновые передачи американских любителей принимались также в Австралии, Н. Зеландии и на о. Цейлоне. Мощность любительских передатчиков при этом не превосходила 30 *вт*.

Результаты, полученные радиолюбителями, естественно, заинтересовали правительственные и научные организации. Были поставлены в широком масштабе наблюдения, которые показали, что короткие волны распространяются на большие расстояния в результате однократного или многократного отражения от ионизированных слоёв, с небольшим поглощением в ионосфере. Выяснилось также, что способность коротких волн распространяться на большие расстояния ускользнула от внимания прежних исследователей вследствие существования у волн короче 50 *м* ясно выраженной «зоны молчания».

Надо сказать, что к этому времени стала совершенно ясной необходимость чёткого разграничения понятий о *поверхностных и пространственных* волнах.

Под поверхностными радиоволнами понимают волны, излучаемые под небольшими углами к горизонту, распространяющиеся на небольшие расстояния вдоль поверхности земли и частично огибающие её вследствие явления дифракции. Пространственными волнами называют волны, излучаемые под сравнительно большими углами к горизонту, распространяющиеся на большие расстояния и огибающие поверхность земли в результате однократного или многократного отражения от ионосферы.

В диапазоне длинных и средних волн области распространения поверхностных и пространственных волн перекрывают друг друга. В диапазоне коротких волн вследствие возрастания потерь в земле по мере увеличения ча-

стоты поверхностные волны сильно поглощаются, из-за чего в ряде случаев возникает разрыв между областями, обслуживаемыми поверхностными и пространственными волнами. Расположенная между указанными областями зона, куда уже не проникают поверхностные волны, но в то же время ещё не попадают пространственные волны, получила название «зоны молчания».

Когда во время опытов по определению пригодности волн различных диапазонов для связи на большие расстояния, проводившихся до 1912 г., было обнаружено быстрое уменьшение напряжённости поля коротких волн по мере удаления от передатчика, конечно, никто не мог подумать, что сигналы могут вновь сделаться слышимыми на расстояниях порядка тысячи и выше километров. На случайное обнаружение сигналов не приходилось рассчитывать, так как в то время коротковолновые приёмники вовсе не применялись.

В 20-х годах в связи с началом радиовещательных передач учение о распространении радиоволн получило дальнейшее развитие.

Накопленный к 1924 г. материал по распространению радиоволн не мог удовлетворить насущных нужд новых направлений радиотехники: техники связи на коротких волнах и техники радиовещания.

Не было почти ничего достоверно известно об особенностях распространения коротких волн, за исключением того, что их законы распространения неизмеримо сложнее законов распространения длинных и средних волн и во всяком случае не могут быть уложены в полуэмпирические формулы типа формулы Остина. Первые же попытки применения коротких волн на магистральных связях показали, что в отличие от длинных и средних волн, где выбор волны не имел решающего значения, успех связи на коротких волнах в большой степени определялся правильным выбором рабочей волны. Кроме того, для разработки эффективных методов борьбы с замираниями сигналов, весьма затруднявшими приём коротких волн, необходимо было знать механизм распространения коротких волн. Поэтому изучение распространения коротких волн начало приобретать чисто практическое значение.

Технику радиовещания интересовали достаточно точные методы расчёта напряжённости поля на небольших рас-

стояниях от передатчиков в диапазоне средних волн как в дневные, так и в ночные часы. Эта проблема в первой своей части была связана прежде всего с усовершенствованием теории распространения поверхностных радиоволн, так как ранее сделанные исследования не обеспечивали необходимой точности расчётов.

1924 год может считаться своеобразной вехой в развитии учения о распространении радиоволн. Начиная с этого времени, изучение вопросов распространения радиоволн явно разделяется на две ветви, одна из которых относится к вопросам распространения поверхностных, а другая — пространственных волн.

ПОВЕРХНОСТНЫЕ РАДИОВОЛНЫ

Начало изучению распространения поверхностных волн было положено, сделавшейся впоследствии классической, работой Зоммерфельда, опубликованной в 1909 г. Зоммерфельд не учитывал кривизну земли и рассматривал распространение волн над плоской землёй. Работа в целом носила оттенок математического исследования и отнюдь не имела прикладного характера. В 1931 г. Ван-дер-Поль упрощает выкладки Зоммерфельда и придаёт конечной формуле вид, удобный для проведения повседневных технических расчётов. Впоследствии ряд учёных, в том числе Вейль (1919), Зоммерфельд (1926), Уайз (1930), Ван-дер-Поль и Ниссен (1932), академик В. А. Фок (1934), академик Б. А. Введенский (1934) и другие подвергают более строгому и общему рассмотрению процесс распространения поверхностных радиоволн над плоской землёй. В. А. Фок, в частности, указывает на содержащиеся в работе Зоммерфельда неточности. С другой стороны, Нортон (1936), Берроуз (1937) и другие составляют вспомогательные графики и формулы, упрощающие выполнение расчётов.

Одно усовершенствование теории Зоммерфельда не решало, однако, задачи изучения распространения поверхностных волн в целом, так как при этом игнорировалась кривизна земли, а следовательно, и дифракция радиоволн. Многочисленные измерения напряжённости поля показали, что расчётными формулами, не учитывающими кривизну земли, можно пользоваться на расстояниях, не превышающих во всяком случае 200 *км*.

Основываясь на работах Пуанкаре (1912), Никольсона (1911) и Марха (1912), Ватсону в 1918 г. удалось получить приближённое решение задачи дифракции. Решению этой же задачи была посвящена в 1923 г. работа Лапорте. Приближённый характер решения Ватсона был обусловлен тем, что проводимость земли в его рассуждениях предполагалась весьма большой. Это ограничение позволяло применять дифракционную формулу только в диапазоне волн длиннее 5000 *м*.

Первая попытка учёта конечной проводимости земли была предпринята в 1931 и 1932 гг. Эккерслеем, который, основываясь на разработанном им методе фазовых интегралов, получил возможность в первом приближении учесть конечную проводимость земли. Метод Эккерслея является в математическом отношении нестрогим.

Учитывая важное практическое значение для развивающегося радиовещания разработки точных методов расчёта напряжённости поля поверхностных волн, 2-я сессия Международного консультативного комитета по радиосвязи (МККР), собравшаяся в 1932 г. в Мадриде, выделила подкомиссию по распространению радиоволн под председательством Ван-дер-Поля, которой было поручено на основании всех имеющихся теоретических и экспериментальных материалов разработать практический метод определения напряжённости поля поверхностных волн на расстояниях до 2000 *км*. Руководствуясь, главным образом, данными измерений, подкомиссия составила графики зависимости напряжённости поля от расстояния и длины волны, при распространении над различными почвами и при излучённой мощности в 1 *квт*. Одновременно сессия обратилась с предложением ко всем странам-участницам МККР организовать в период между сессиями систематические измерения напряжённости поля с целью проверки и уточнения разработанных подкомиссией расчётных графиков.

В порядке подготовки к очередной сессии МККР Народный комиссариат связи организовал по всей стране пункты измерения напряжённости поля, а также провёл большую работу по сбору, систематизации и обработке результатов измерений.

Следующая, 3-я сессия МККР состоялась в 1934 г. в Лиссабоне. Избранная почти в том же составе подкомис-

сия по распространению радиоволн приняла предложение Эккерслея составлять графики для расчёта напряжённости поля поверхностных волн путём параллельного вертикального переноса дифракционных кривых, рассчитанных по методу Эккерслея, до касания их с кривыми Зоммерфельда. Таким способом осуществлялось плавное сопряжение кривых, не учитывающих кривизны земли, и кривых дифракционных. При окончательном нанесении кривых по-прежнему учитывались данные измерений. Сущность этого, вообще говоря, произвольного приёма была разъяснена много лет спустя академиком Б. А. Введенским (1938).

Развивая вычисления Ватсона, академик Б. А. Введенский в 1936 г. устанавливает дифракционную формулу, которая строго учитывает конечную проводимость земли. Б. А. Введенский решает также задачу дифракции при поднятых над землёй антеннах (1936) и распространяет формулу дифракции на диапазон ультракоротких волн, когда почва приобретает свойства диэлектрика (1937). Таким образом, заслуга строгого и исчерпывающего решения задачи дифракции, которая является основой теории распространения поверхностных радиоволн, принадлежит советскому учёному академику Б. А. Введенскому.

После работы Введенского была опубликована статья Эккерслея (1937), а вслед затем две работы Ван-дер-Поля и Бреммера (1937, 1938). Уточняя метод фазовых интегралов, Эккерслей приходит к выводам, совпадающим с результатами, полученными Введенским. Ван-дер-Поль и Бреммер, которые исходят из тех же предпосылок, что и Введенский, но только пользуются более точными асимптотическими выражениями цилиндрических функций, также приходят к формулам, почти точно совпадающим с формулами Введенского.

Ко времени 4-й сессии МККР, которая собралась в Бухаресте в мае — июне 1937 г., накопился столь солидный теоретический материал по дифракции радиоволн, что выбранная подкомиссия по распространению радиоволн не имела достаточного времени для составления подробного технического отчёта. Составление отчёта было поручено комитету специалистов, который собрался 23—25 ноября в Лондоне.

Лондонский комитет опубликовал подробный отчёт, в котором в числе прочих материалов на основе рабст

Эккерслея, Ван-дер-Поля и Бреммера приведены графики для расчёта напряжённости поля поверхностных волн в диапазоне 60÷2000 *м*, представляющие модернизацию ранее опубликованных графиков. Кроме того, были заново составлены графики для расчёта дифракционного поля в диапазоне ультракоротких волн, при разных высотах передающей и приёмной антенн.

Примерно с 1928 г. радиотехника начинает серьёзно интересоваться диапазоном ультракоротких волн (1÷10 *м*). Эти волны, как известно, практически не отражаются от ионосферы и, следовательно, распространяются, как поверхностные волны. С целью увеличения дальности связи в ультракоротковолновом диапазоне часто применяют поднятые над землёй передающие и приёмные антенны. Вследствие этого в место приёма обычно попадают два луча, один из которых распространяется по прямой, соединяющей передающую и приёмную антенны, а другой — попадает в приёмную антенну в результате отражения от земли. При относительно небольших поднятиях антенн по сравнению с длиной линии связи (что характерно для большинства встречающихся на практике случаев), как было показано в 1928 г. академиком Введенским, расчётная формула принимает особенно простой вид. Напряженность поля в этом случае убывает обратно пропорционально квадрату длины линии связи. Формула Введенского (которая только в 1933 г. была установлена американскими авторами) широко применяется при расчётах распространения в диапазоне ультракоротких и дециметровых волн. Впоследствии академик Б. А. Введенский и профессор А. Г. Аренберг разработали теорию распространения ультракоротких волн, полностью охватывающую все важные для практики случаи. В их книге «Распространение ультракоротких волн» (1938) помимо изложения собственных работ авторов дан исчерпывающий анализ состояния учения о распространении ультракоротких волн.

Многие исследователи подробно останавливались на вопросах атмосферной рефракции, которая существенно влияет на условия распространения ультракоротких волн. При этом тщательно изучалось влияние температуры воздуха, его влажности, атмосферных осадков, а также образующихся иногда на некоторой высоте над землёй, так называемых «влажных мешков», которые могут вызвать от-

ражения волн на землю. У нас в Союзе вопросы атмосферной рефракции изучали Введенский и Аренберг.

Многими авторами исследовались специальные случаи распространения радиоволн. В частности, профессор А. Н. Щукин в 1937 г. подробно рассмотрел условия распространения радиоволн в морской воде.

В последние годы в связи с развитием радиолокации много работ посвящено изучению особенностей распространения дециметровых и сантиметровых волн.

Рассмотренные выше вопросы относятся по существу к одной стороне процессов распространения поверхностных волн, а именно к установлению зависимости между напряжённостью поля в месте приёма и расстоянием при известных мощности передатчика и электрических данных поверхности, над которой распространяются волны. Для работы радионавигационных устройств, помимо указанных, представляют существенный интерес и некоторые другие особенности распространения радиоволн, например, отклонение пути распространения радиоволн от прямой, при переходе границы раздела двух почв (например, береговой линии), скорость распространения радиоволн при распространении над различными почвами и некоторые другие.

Первая, и притом неудачная, попытка теоретически рассмотреть явление береговой рефракции была предпринята Эккерслеем ещё в 1920 году. Как показали позднейшие исследования, явление береговой рефракции оказалось несравненно сложнее, чем это предполагал Эккерслей, и только в 1942—1944 гг. работами советских учёных академика В. А. Фока и Г. А. Гринберга проблема береговой рефракции была разрешена.

Группа советских учёных под общим руководством академиков Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси в течение последних лет детально изучала зависимость скорости распространения радиоволн от характера почвы, фазовую структуру поля у поверхности земли и ряд других вопросов, связанных с тонкостями распространения поверхностных радиоволн.

Особенно большое значение имело изучение скорости распространения радиоволн над поверхностью моря и суши, выполненное Я. Л. Альпертом, П. А. Рязиным, В. В. Мигулиным и Е. Я. Щёголевым. Актуальность этого

вопроса усугублялась тем, что знание точного значения скорости распространения радиоволн существенно необходимо как для разработанного академиками Л. И. Мандельштамом и Н. Д. Папалекси оригинального радиотехнического метода измерения расстояний, так и для определения расстояний вдоль земли радиолокационными методами. Тонко поставленными экспериментами удалось показать, что скорость распространения радиоволн над морем практически не отличается от скорости света в безвоздушном пространстве. В то же время было показано, что вопреки мнению некоторых иностранных авторов скорость распространения радиоволн над сушей во многих важных для практики случаях также может быть принята равной скорости света в безвоздушном пространстве. Эти выводы находятся в полном согласии с теоретическим рассмотрением вопроса, выполненным по указанию Мандельштама и Папалекси.

Упомянутую работу и ряд других не менее ценных достижений в изучении вопросов распространения радиоволн следует целиком отнести к заслуге академиков Мандельштама и Папалекси, сумевших создать свою школу — сплочённый и талантливый коллектив учёных, плодотворно работающих в Советском Союзе над изучением вопросов распространения радиоволн.

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ РАДИОВОЛНЫ

В 1924 году основными вопросами из области распространения пространственных радиоволн, подлежащими разрешению, в первую очередь были: 1) разработка способа выбора волн для связи на коротких волнах и расчёта напряжённости поля в том же диапазоне и 2) разработка способа расчёта напряжённости поля в ночные часы в диапазоне средних волн. Оба вопроса могли быть решены только путём организации тщательных (и в большом масштабе) наблюдений за прохождением волн и измерений напряжённости поля. Сбор и обработка такого материала производились с 1924 по 1930 год. У нас в Союзе первые наблюдения за распространением коротких волн вели Д. А. Рожанский, М. А. Бонч-Бруевич и А. Н. Щукин. Наблюдениями за распространением средних волн занимался Б. Ф. Архангельский и его сотрудники.

Коммерческая эксплоатация коротковолновых линий связи и в первую очередь линий, входящих в состав Британской Имперской сети (1925), показала, что устойчивая коротковолновая связь может быть достигнута только при условии разработки достаточно эффективного метода подавления замираний. Среди нескольких предложенных наиболее действительным оказался разработанный Бевереджем и Петерсоном метод приёма на разнесённые антенны. Кроме того, было показано, что устойчивую коротковолновую связь можно получить ценой значительного увеличения мощности передатчиков и использования направленных передающих и приёмных антенн. Мощность коротковолновых передатчиков на линиях длиной до 10 000 *км* достигала одного—двух десятков киловатт, против десятка ватт, применявшихся в аналогичных случаях любителями.

Путём обобщения опыта эксплоатации удалось сформулировать рекомендации по выбору волн. В 1932 г. профессор А. Н. Щукин предложил первый по времени метод расчёта напряжённости поля на коротких волнах. Вслед затем, в 1933 г., был опубликован метод расчёта Намба и Цукада, а в 1934 г. метод Эккерслея. Указанные методы в течение ряда лет находили широкое применение при выборе рабочих волн на вновь проектируемых и существующих линиях радиосвязи.

На основе анализа результатов измерения напряжённости поля в ночные часы в диапазоне средних волн подкомиссия по распространению радиоволн на 2-й сессии МККР в 1932 г. составляет графики для расчёта напряжённости поля. Эти графики, впоследствии уточнённые и исправленные на сессиях МККР 1934 и 1937 гг., позволяют надёжно определить ночные поля в диапазоне средних волн. Теоретическое обоснование указанных графиков было дано несколько лет спустя А. Н. Щукиным (1940).

В 1925 г. Эпплтон и его сотрудники (в Англии), изменяя частоту передатчика и наблюдая в месте приёма за интерференцией поверхностного и пространственного лучей, обнаружили существование в ионосфере двух ионизированных слоёв, названных ими соответственно слоями E и F (повидимому из тех соображений, чтобы сохранить другие буквы алфавита для обозначения выше и ниже лежащих слоёв, которые могут быть обнаружены впослед-

ствии). Почти в то же время Брейт, Тюв и Даль в США (1926) разработали несравненно более совершенный метод измерения высоты ионизированных слоёв, основанный на излучении кратковременных импульсов и регистрации на экране электроннолучевой трубки, включённой на выходе приёмного устройства, моментов прихода основного и отражённого от ионосферы импульсов. Импульсный метод был впоследствии значительно усовершенствован и, в частности, была достигнута возможность устанавливать приёмное устройство в непосредственной близости от передающего. Подобно Эпплтону американские авторы обнаружили два слоя на высотах, соответственно, 85 и 220 *км*.

С изобретением ионосферных станций радиотехника получила новое мощное средство для изучения процессов распространения пространственных волн. Новое средство обладало многими преимуществами по сравнению с простым наблюдением за прохождением коротких волн на линиях связи. Ещё большие перспективы сулило сопоставление данных ионосферных измерений с условиями прохождения коротких волн на действительных линиях связи.

Первые ионосферные станции работали на фиксированных частотах и позволяли снимать зависимость высоты отражения данной частоты от времени суток, затем появились ионосферные станции с переменной частотой передатчика, которые позволяли получать полную ионосферную характеристику, представляющую зависимость высот отражающих слоёв от постепенно изменяемой частоты передатчика. Эти станции в то же время позволяли определять так называемые критические частоты, т. е. наибольшие частоты, отражаемые от данного слоя. С 1936 г. начали широко применяться автоматические ионосферные станции, в которых изменение настроек передатчика и приёмника осуществляется автоматически, а картина отражений с экрана электроннолучевой трубки фотографируется на автоматически перемещаемую фотоплёнку.

В 1939 г. число регулярно действующих на всём земном шаре ионосферных станций достигало 15.

В Советском Союзе первые ионосферные измерения проводились под руководством профессора М. А. Бонч-Бруевича в 1932 г. В 1936 г. начала регулярную работу

ионосферная станция при Томском университете, в 1941 г. на территории Союза работало 5 станций.

Первые же ионосферные наблюдения показали, что длинные и средние волны отражаются от слоя E, расположенного на высоте порядка 100 *км*. Короткие волны, как правило, отражаются от слоя F, расположенного на высотах порядка 200÷400 *км*. Слой E выполняет для коротких волн роль поглощающей области. В 1927 г. Эпплтон и другие указали на существование ниже слоя E поглощающего слоя D, который образуется только в дневные часы и вызывает поглощение длинных волн.

Дальнейшими наблюдениями было обнаружено явление расщепления слоя F в дневные часы летних месяцев на два слоя F_1 и F_2 (1933), возникновение так называемого «спорадического слоя E_s» с необычно высокой ионизацией (1934) и более высокая ионизация слоя F в дневные часы зимних месяцев в северном полушарии по сравнению с таковой для летних месяцев (1933). Все наблюдатели констатировали явление расщепления лучей, отражающихся от слоя F, на обыкновенную и необыкновенную составляющие, обусловленное действием постоянного магнитного поля земли в соответствии с теорией, разработанной ещё в 1925 г. Эпплтоном и Барнеттом и независимо от них Николсом и Шелленгом.

Итоги более ранних работ по теории распространения радиоволн в ионосфере нашли отражение в книге Педерсена (1927). Начиная с этого времени публикуется множество работ, посвящённых, главным образом, попыткам объяснить и истолковать особенности явлений в ионосфере, обнаруживаемых в результате ионосферных наблюдений.

Одним из наиболее неожиданных открытий был обнаруженный в 1935 г. после вступления в строй австралийской ионосферной станции годовой ход ионизации в масштабе всего земного шара с максимумом в зимние месяцы (в северном полушарии). Предложенная Халбертом и Эпплтоном для объяснения максимума ионизации в зимние месяцы в одном северном полушарии гипотеза теплового расширения ионосферы, естественно, не могла объяснить годового хода, который и до сего времени не получил удовлетворительного истолкования. Точно так же до сих пор не ясно происхождение спорадического слоя E_s и всё ещё не объяснена причина расщепления области F

на слои F_1 и F_2. Отдельные предположения носят характер гипотез и не могут объяснить всего комплекса наблюдаемых явлений.

Наши знания о строении и составе ионосферы и о происходящих в ней процессах ионизации следует считать более чем скромными. Пока твёрдо установленным можно считать лишь, что ионизация слоя *E* бесспорно обусловлена ультрафиолетовым излучением солнца. Суточный и годовой ходы ионизации слоя *E* в часы освещённости в точности совпадают по своему характеру с изменением высоты солнца над горизонтом. По всей видимости этот слой имеет ионную структуру.

Слой *F*, наоборот, состоит в основном из электронов. Что касается причины ионизации этого слоя, то здесь можно только предполагать, что известное значение, помимо ультрафиолетового излучения, имеют выбрасываемые солнцем потоки корпускул. Слой *F* не отличается постоянством, характерным для слоя *E*. Этим, в частности, объясняется известная изменчивость условий распространения коротких волн по сравнению с распространением длинных и средних волн, отражающихся от слоя *E*.

Наблюдения на ионосферных станциях показали, что во время магнитных бурь, сопровождаемых ионосферными возмущениями, резко изменяется структура слоя *F* и увеличивается его высота при одновременном уменьшении ионизации. Происходит как бы местное разогревание ионосферы. В ряде случаев слой *F* расщепляется на отдельные области—электронные облака. При более сильных возмущениях отмечены случаи полного исчезновения слоя *F*.

Распределение ионосферных возмущений по земному шару имеет ярко выраженный характер: интенсивность возмущений возрастает по мере приближения к магнитным полюсам. Ионосферные наблюдения в общем подтверждают разработанную Чэпмэном и Ферраро корпускулярную теорию магнитных бурь, согласно которой бури вызываются потоком выбрасываемых солнцем во время извержений материальных частиц, которые, будучи частично заряжёнными, попадают преимущественно в районы магнитных полюсов.

Ионосферные наблюдения вполне объяснили природу «эффекта Деллинджера», как принято называть наблю-

даемые в годы максимума солнечной активности кратковременные перерывы коротковолновых связей на освещённой половине земного шара. Спектрогелиографические наблюдения за солнцем показали, что эффект Деллинджера вызывается вспышками интенсивного ультрафиолетового излучения. Эта радиация вызывает образование сильно ионизированной области на уровне слоя *E*, которая полностью (или частично) поглощает короткие волны. Длинные и средние волны получают при этом возможность отражаться от вновь образованного слоя и не подвержены действию эффекта Деллинджера. Уже в 1935 г. стало вполне очевидным, что 11-летний период солнечной активности тесно связан с ионизацией верхних слоёв атмосферы: с увеличением относительного числа солнечных пятен возрастает средняя интенсивность ионизации всех слоёв ионосферы. Этим объясняется возможность укорочения рабочих волн в годы максимума солнечной активности.

В 1933 г. было обнаружено явление перекрёстной модуляции, производившейся мощной радиовещательной станцией в Люксембурге при приёме других радиовещательных станций, работающих в диапазоне средних волн. Почти одновременно такое же явление обнаружили в Горьком, и потому в нашей литературе оно получило название «Люксембург-Горьковского эффекта». Теоретическое объяснение перекрёстной модуляции дано в 1934 г. Бэйли и Мэртином, которые считают, что под действием мощного средневолнового излучения в расположенных над передатчиком областях ионосферы периодически изменяется число столкновений электронов с нейтральными молекулами. В силу этого отражающиеся от указанной области ионосферы радиоволны других передатчиков оказываются промодулированными частотой модуляции мощного передатчика.

Итоги более поздних исследований в области теории распространения пространственных волн и исследования ионосферы даны в книгах А. Н. Щукина «Физические основы распространения радиоволн в ионосфере» и «Распространение радиоволн» (1940).

В деле экспериментального и теоретического изучения ионосферы в Союзе ССР особенно велика роль профессора В. Н. Кессениха и его сотрудников, выполнивших ряд

работ, имеющих большое практическое значение. Широко используется на всех советских ионосферных станциях классификация состояния ионизированных слоёв, выработанная Томской ионосферной станцией, работой которой профессор Кессених руководил в продолжение многих лет.

Теоретическим исследованием происходящих в ионосфере процессов, кроме того, занимались С. И. Крючков, Г. А. Гринберг, В. Л. Гинзбург, С. М. Рытов, Л. А. Жекулин и многие другие.

Параллельно с развитием методов исследования ионосферы совершенствовались приёмы и способы изучения особенностей распространения коротких волн. В этом деле большую помощь оказали советские любители, активно проводившие целый ряд наблюдений. Во многих странах производилось экспериментальное изучение явления замираний с целью количественной оценки различных методов борьбы с этим явлением. В Союзе ССР подобные наблюдения проводили А. Н. Щукин, В. А. Котельников и Н. Н. Шумская. Развивая высказанное ещё в 1930 г. Эккерслеем предложение прилагать к изучению замираний теорию вероятностей, В. И. Сифоров (1930), а затем В. А. Котельников и А. Н. Щукин разработали стройную теорию количественной оценки явления замираний, подтверждённую экспериментальными наблюдениями С. Н. Савина (1937).

При приёме на коротких волнах радиотелефонных передач, замирания вызывают сильные искажения. Природа этих искажений исследовалась экспериментально в США Поттером (1930) и теоретически в СССР М. П. Долухановым (1937). Исследования показали, что наиболее эффективными мероприятиями для борьбы с искажениями телефонных передач являются телефонирование на одной боковой полосе и применение приёмных антенн с управляемой направленностью в вертикальной плоскости, известных под названием антенн типа «MUSA».

Большая экспериментальная работа была проведена с целью изучения отклонений пути распространения коротких волн от дуги большого круга, а также колебаний угла наклона приходящих лучей в вертикальной плоскости. Измерение числа приходящих к месту приёма лучей и их углов наклона производилось в СССР Н. Н. Шумской, а в США Фриисом и Фелдманом. Данные этих наблюдений

легли в основу метода проектирования коротковолновых передающих и приёмных антенн.

В связи с развитием фототелеграфной связи многие авторы исследовали явление эхо на коротких волнах. Не осталось без внимания и явление рассеяния коротких волн, наблюдаемое, главным образом, при приёме в зоне молчания. Наиболее полно этот вопрос исследовался Эккерслеем (1938).

Сопоставление наблюдений за прохождением коротких волн с ионосферными измерениями позволило сформулировать рекомендации по борьбе с нарушающим действием возмущений. В более лёгких случаях влияние возмущения может быть устранено путём перехода на более длинные волны. При сильных ионосферных возмущениях приходится переходить на ретрансляционные линии радиосвязи, выбирая пункт ретрансляции вдали от района магнитных полюсов, с таким расчётом, чтобы радиоволны обходили поражённый участок ионосферы.

Отдельные попытки использования данных ионосферных наблюдений для рекомендации наивыгоднейших для радиосвязи частот относятся ещё к 1935 г. При этом, обычно, в основу расчёта брали значения критических частот и высот, измеренных на пологом участке ионосферных характеристик (не соответствующих критической частоте), вследствие чего результаты расчёта получались далеко не точными.

Дело пересчёта данных ионосферных измерений на рабочие частоты значительно продвинулось после того, как в 1936 г. Смит, и повидимому независимо от него Беркнер, разработали новый метод определения наибольших рабочих частот по заданной ионосферной характеристике. Смит придал способу определения рабочих частот форму простого графического расчёта, удобную для технического применения, что обеспечило методу широкое применение. Метод Смита и его модификации в настоящее время пользуются большой популярностью при повседневных расчётах.

Новое применение ионосферных станций нашло отражение, в частности, в том, что «хозяевами» вновь вступающих в строй ионосферных станций становятся организации, эксплоатирующие радиосвязь. Пионером на этом поприще явилась американская телефонная компания «Бэлл

Систем», которая обзавелась собственной ионосферной станцией ещё в 1933 г. С сентября 1937 г. в старейшем радиотехническом журнале «Proc. IRE» начинается ежемесячная публикация данных ионосферных измерений в виде усреднённых суточных графиков критических частот и действующих высот. С декабря того же года, в дополнение к указанным графикам, в журнале помещаются рассчитанные по методу Смита наибольшие рабочие частоты за предшествующий месяц, а с 1939 г., кроме того, прогноз наибольших рабочих частот на следующий месяц. К этому времени все организации, эксплоатирующие магистральные коротковолновые линии радиосвязи, либо установили собственные ионосферные станции, либо обеспечили себя обслуживанием существующими ионосферными станциями. В Советском Союзе данные ионосферных измерений систематически публикуются с 1938 года.

Основываясь на ионосферных измерениях, в настоящее время определяют, обычно на месяц вперёд, рекомендуемые частоты, иначе говоря, составляют расписание смены волн на важнейших линиях связи.

В последние годы большое внимание уделяется «радиопрогнозам», т. е. заблаговременному предупреждению об ожидаемых нарушениях коротковолновых линий радиосвязи под действием ионосферных возмущений. Прогнозы составляются путём комплексных наблюдений за состоянием ионосферы, состоянием магнитного поля земли и процессами на солнце. Радиопрогноз обычно включает также рекомендацию наивыгоднейших волн для невозмущённого состояния ионосферы. Работы по радиопрогнозам в Союзе ССР ведутся К. М. Косиковым.

Реальная помощь, оказываемая эксплоатации ионосферными станциями, иллюстрируется в числе прочего тем, что с началом второй мировой войны прекращается публикация данных ионосферных измерений, чтобы не дать противнику полезной для него информации.

Заканчивая краткий обзор развития представлений о распространении радиоволн, подведём некоторые итоги.

В первые годы развития радиотехники, когда связь осуществлялась на длинных и средних волнах, учение о распространении радиоволн недооценивалось в практиче-

ской радиотехнике. С переходом радиосвязи на диапазон коротких волн и с развитием радиовещания это учение приобрело большое практическое значение.

Однако, многие вопросы, главным образом, из области строения ионосферы, до сих пор не получили должного разрешения и должны сделаться предметом изучения в ближайшие годы. Точно так же пока не создано полной теории распространения радиоволн в ионосфере.

Общий вклад советских учёных в дело развития учения о распространении радиоволн достаточно значителен, и можно смело утверждать, что в этом отношении советские учёные поддержали честь своей страны — родины радио.

Проф. И. Г. КЛЯЦКИН

ЭВОЛЮЦИЯ АНТЕННЫ

Изобретение радио А. С. Поповым было тесно связано с тем, что он впервые в мире применил антенну для приёма электромагнитных волн.

Опыты Герца, применявшего вибратор для передачи и замкнутый контур в качестве резонатора для приёма, не могли непосредственно привести к созданию радиосвязи, так как при этих устройствах дальность действия радиопередачи была очень мала. Применение антенн целиком изменило дело, и целый ряд историков радиотехники справедливо указывает, что антенна Попова явилась одним из основных изобретений, которым обязана своим появлением радиотелеграфия.

«Чем выше передающая и приёмная антенны, тем больше дальность передачи» — такова простая истина, доказанная в первые годы применения радиотелеграфа.

Чем выше передающая антенна при том же токе, тем больше мощность излучения, а следовательно, и дальность радиопередачи. Однако, если бы потери энергии в антенне определялись только излучением, то высота антенны не играла бы существенной роли, потому что увеличение действующей высоты вело бы при той же мощности в антенне к уменьшению тока в ней. В действительности же ток в антенне определяется не только потерями на излучение, но и вредными потерями (потери в земле, потери в проводах, потери в окружающих предметах). Таким образом, при сравнительно небольшом коэфициенте полезного действия антенны, равном отношению мощности излучения к полной мощности в антенне, ток в основном опре-

деляется сопротивлением потерь и рост действующей высоты влечёт за собой увеличение мощности излучения.

Увеличение высоты приёмной антенны даёт пропорциональное увеличение электродвижущей силы, действующей на антенну, а следовательно, увеличение тока в ней.

Эти теоретические соображения, ещё неизвестные радиоспециалистам прошлого столетия, оказывали своё влияние на развитие антенных устройств. Благодаря тому, что искровой промежуток помещался в антенне и не применялось никаких специальных средств для уменьшения потерь в земле, коэфициент полезного действия антенны был мал, и, естественно, что увеличение высоты явилось необходимым следствием желания увеличить дальность радиопередачи. Антенны в то время поднимали на высоких мачтах, иногда подвешивали к змею или к воздушному шару для того лишь, чтобы получить возможно большую высоту подвеса.

В первое время не применялось никакой настройки антенн и они работали собственной длиной волны. Антенна представляла собой простой вертикальный или слегка наклонный провод, возбуждаемый искровым промежутком, помещённым у основания, и связанный с катушкой Румкорфа. В этом случае увеличение высоты влечёт за собой увеличение рабочей длины волны, но мощность излучения остаётся постоянной. Большое значение имеет происходящее при этом увеличение ёмкости антенны. Как известно, мощность в колебательном контуре искрового передатчика тем больше, чем больше напряжение и ёмкость в этом контуре. Напряжение в антенне ограничивалось явлением короны, а очень малая ёмкость одиночного провода являлась препятствием для увеличения мощности передатчика. Естественным поэтому было применение сначала более длинных вертикальных проводов, а затем нескольких параллельных проводов, расположенных в виде веера или даже в виде опрокинутой пирамиды, как это имело место, на первой мощной радиостанции Маркони, давшей в 1901 г. связь через Атлантический океан.

Применение большого количества вертикальных проводов приводило к чрезмерно дорогому мачтовому устройству. Чтобы несколько его упростить, к вертикальным проводам начали добавлять горизонтальные, которые, хотя и не излучали при тех длинных волнах, на которых рабо-

тали в то время, но зато прибавляли ёмкость, а следовательно, позволяли увеличивать мощность передающих устройств.

Появились антенны Т-образного и Г-образного типа с достаточно большими горизонтальными частями и даже зонтичная антенна, где вместо горизонтальных были ис-



Рис. 1. Антенна, поднятая на воздушном шаре.

пользованы наклонные провода. Эти антенны имели достаточно большую ёмкость, хорошую действующую высоту и в течение следующих 20 лет были основными во всех радиостанциях; они применяются иногда и сейчас, если передача производится на сравнительно длинных волнах.

Для приёма, кроме этих типов антенн, начала широко применяться приёмная рамка, состоящая из многих витков. Применение рамки показало возможность направленного радиоприёма. Это свойство позволяет получить добавочную отстройку от мешающей станции и уменьшить помехи от атмосферных разрядов. Все преимущества такого способа радиоприёма были осознаны очень рано и даже была изобретена радиопеленгация, т. е. способ определения направления на передающую радиостанцию.

Развитию приёма при помощи рамки способствовало изобретение радиогониометра Беллини и Този, где две взаимно перпендикулярные рамки связывались с «искательной» катушкой, направление витков которой при наибольшей силе приёма показывало направление на передающую радиостанцию. В передающей технике применение рамки было нецелесообразным, ввиду её малого коэфициента полезного действия.

Дальнейшее развитие передающих антенн, вызванное ростом мощности радиостанций, заключалось в увеличении коэфициента полезного действия. Так как это связано с увеличением действующей высоты, а следовательно, с удорожанием антенного устройства, то, начиная с 20-х годов, особое внимание было обращено на снижение потерь в антенне. Применение распределённого заземления или широко развитого противовеса позволило довести сопротивление антенн до десятых долей ома. В то время мощные радиостанции работали на очень длинных волнах, порядка 10 000÷25 000 *м*, поэтому даже при очень высоких мачтах в 200÷250 *м* высотой сопротивление излучения было порядка нескольких десятых ома и доведение сопротивления потерь, примерно, до такой же цифры являлось насущной необходимостью.

Значительное увеличение коэфициента полезного действия дала так называемая антенна Александерсена, представляющая собой Г-образную антенну со многими снижениями. Эти снижения, влияя друг на друга, увеличивали общее сопротивление излучения, в то время как токи в земле от каждого отдельного снижения не влияли друг на друга, и поэтому сопротивление потерь не увеличивалось. Коэфициент полезного действия антенны стал достигать нескольких десятков процентов.

Эти усовершенствования имели бы очень большое зна-

чение, если бы в радиотехнике не произошла революция.

В середине 20-х годов длинноволновая радиосвязь уступила место коротковолновой связи, и развитие антенных устройств длинноволнового типа почти прекратилось.

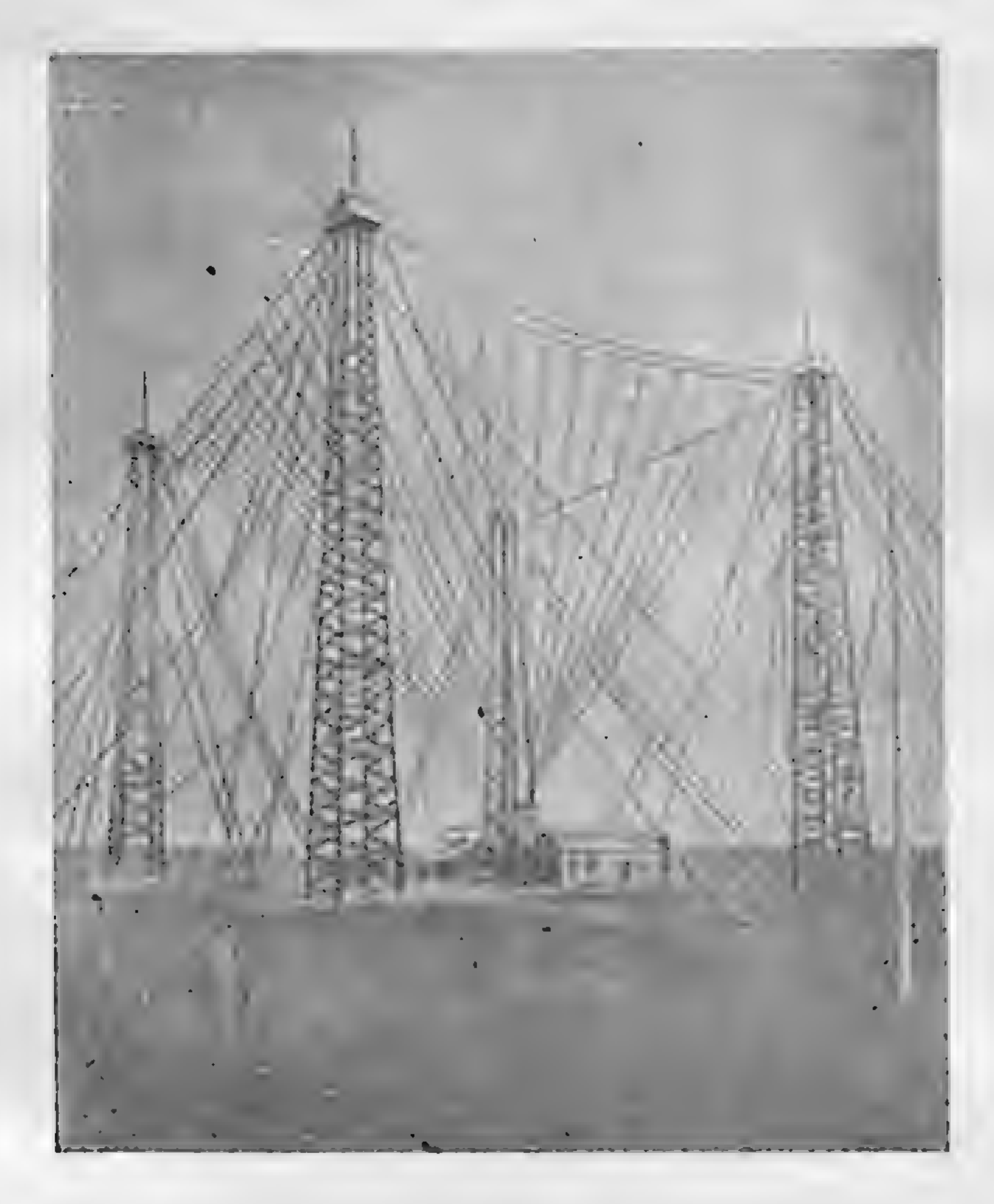


Рис. 2. Антенна радиостанции, давшей первую радиопередачу через Атлантический океан.

Однако, усилия по улучшению этих антенн не пропали даром. С началом радиовещания все те задачи, которые решались при создании длинноволновых антенн коммерческой радиосвязи, пришлось решать при создании антенн радиовещательных станций. Правда, работа при радио-

вещании происходит на более коротких волнах, и коэфициент полезного действия не столь мал, как это было при длинноволновой связи, но всё же увеличение его имеет большое значение, так как уменьшает напрасный расход дорогой высокочастотной энергии.

Для усовершенствования антенн радиовещательных станций следовало решить ещё три задачи.

Первой задачей было придание радиопередающей антенне направленного действия в горизонтальной плоскости, поскольку площадь, которую необходимо покрыть радиовещанием, может быть неправильной формы, например, удлинённой в одном направлении и суженной — в другом.

Направленные антенны состоят из нескольких вертикальных проводов, расположенных в пространстве так, чтобы их излучение складывалось в одном, нужном, направлении и компенсировалось в другом направлении. Наиболее интересным решением этого вопроса было применение для радиовещания антенны Александерсена, дающей, правда, небольшое, но достаточное для многих целей направленное действие.

Эта антенна решила и вторую задачу, которая не ставилась при длинноволновой связи, но получила большое значение при радиовещании на сравнительно длинных волнах. Эта задача — пропускание антенной достаточно широкой полосы передаваемых частот. Для телеграфной передачи полоса передаваемых частот не имеет никакого значения. Весьма малое значение она имеет и для радиовещательных станций, работающих на волнах 200÷600 *м*, но при работе в диапазоне 1000÷1500 *м* передаваемая полоса частот является значительным процентом от несущей частоты и имеются большие трудности в пропускании её через антенну. Для увеличения полосы пропускания необходимо увеличить затухание антенны, что достигается наилучшим образом при помощи антенны со многими снижениями, при которой увеличивается полезное сопротивление антенны.

Третья задача, которую пришлось разрешать при разработке радиовещательных антенн, состояла в увеличении излучения под малыми углами к горизонту и соответственном уменьшении излучения под большими углами. Дело в том, что излучаемая вверх энергия приносит больше вреда, чем пользы. Лучи, приходящие на землю

после отражения от верхних слоёв атмосферы, интерферируют с лучами, прошедшими свой путь по земле, и приводят к нерегулярным изменениям силы приёма — к замиранию (федингу). Соответствующее распределение тока вдоль антенны улучшает характеристику направленности в вертикальной плоскости и уменьшает замирания. Такие антифединговые антенны нашли большое применение для радиовещательных станций, работающих в диапазоне 200÷600 *м*, где замирания сказываются очень сильно. Среди антифединговых антенн необходимо особо отметить антенны-мачты, являющиеся сейчас одним из наиболее распространённых типов антенн радиовещательных станций.

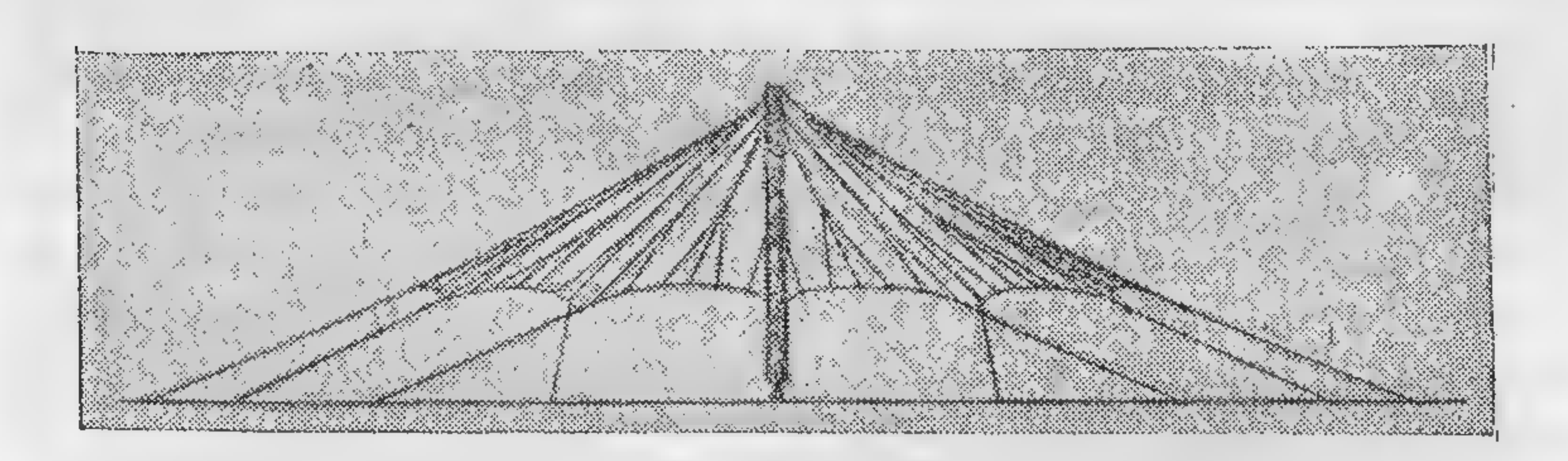


Рис. 3. Зонтичная антенна мощной радиостанции.

Параллельно развитию передающих антенн шло развитие антенн приёмных. Помимо рамки и гониометра, о которых мы уже упоминали, для длинноволновой связи применялись и другие направленные системы. Из них необходимо упомянуть о горизонтальной антенне. Уже применение Г-образной антенны показало, что горизонтальная часть даёт излучение и приём, если антенна расположена над недостаточно хорошо проводящей почвой. Для приёма можно применить низкую горизонтальную антенну без вертикальной части. Для передачи такая антенна мало пригодна, так как имеет большое сопротивление потерь; она находит применение лишь там, где поднимать антенну вверх нежелательно. Горизонтальная антенна в несколько длин волн, расположенная невысоко над землёй (антенна Бевереджа), даёт хорошее направленное действие и сравнительно слабый приём атмосферных помех. Поэтому гониометры и антенны Бевереджа стали основными типами приёмных антенн для длинноволновой связи.

В середине 20-х годов выяснилось, что короткие волны перекрывают большое расстояние так же хорошо, а пожалуй и лучше, чем длинные волны. Радиолюбители, использовавшие короткие волны и чувствительные ламповые приёмники, поддерживали связь через Атлантический океан с небольшими мощностями передатчиков. На длинных волнах для этой цели требовались мощные радиостанции в сотни киловатт.

Постройка мощных коротковолновых станций с направленными антеннами явилась переворотом в радиосвязи. Оказалось, что эта связь достаточно устойчива и может обеспечить быстродействующую передачу. Впервые радиосвязь начала конкурировать с проводной связью не только в военных условиях, но и в мирных, не только для связи с кораблями и самолётами, но и для нормальной связи между двумя пунктами, расположенными на земле.

Кроме применения коротких волн, решающую роль сыграли направленные антенны, сконструированные в виде полотен из вертикальных, горизонтальных или наклонных вибраторов. Первая такая антенна была предложена в Англии Франклином. Основным элементом коротковолновой антенны стал полуволновой вибратор или полуволновой диполь, представлявший собой провод, по длине которого укладывалась половина волны. Комбинация этих вибраторов, расположенных в несколько этажей и по нескольку штук в каждом этаже, давала возможность получить резко направленную передачу. Сзади такого «активного» полотна, питающегося при помощи двухпроводного фидера от передатчика, помещалось другое—«пассивное»—полотно без питания, которое отражало энергию и делало систему однонаправленной. Подобные системы антенн, благодаря направленности как бы увеличивали мощность излучения в десятки раз. Они имели очень большое значение для обеспечения коротковолновой радиосвязи и благодаря им удалось доказать преимущество коротких волн. Однако, они имеют один весьма существенный недостаток: каждое такое полотно настроено на определённую длину волны. Между тем для обеспечения круглосуточной связи в любое время года необходимо применять две — три, а иногда и четыре волны. В результате на больших радиоцентрах приходится строить несколько антенных устройств для передачи в одном напра-

влении и переключать передатчик на ту или иную систему, соответственно настраивая его на необходимую длину волны.

Для радиопередатчиков, работающих без большого антенного поля, а также для передатчиков малой мощности, где постройка большого количества антенн экономически нецелесообразна, начали применять антенные устройства, которые могут работать на нескольких волнах. Эти коротковолновые диапазонные антенны, дающие обычно несколько меньшую направленность, чем антенные полотна, настроенные на определённую длину волны, получили весьма широкое распространение. Среди них нужно отметить ромбическую антенну Брюса, которая даёт хорошее направленное излучение и может работать в достаточно широком диапазоне частот.

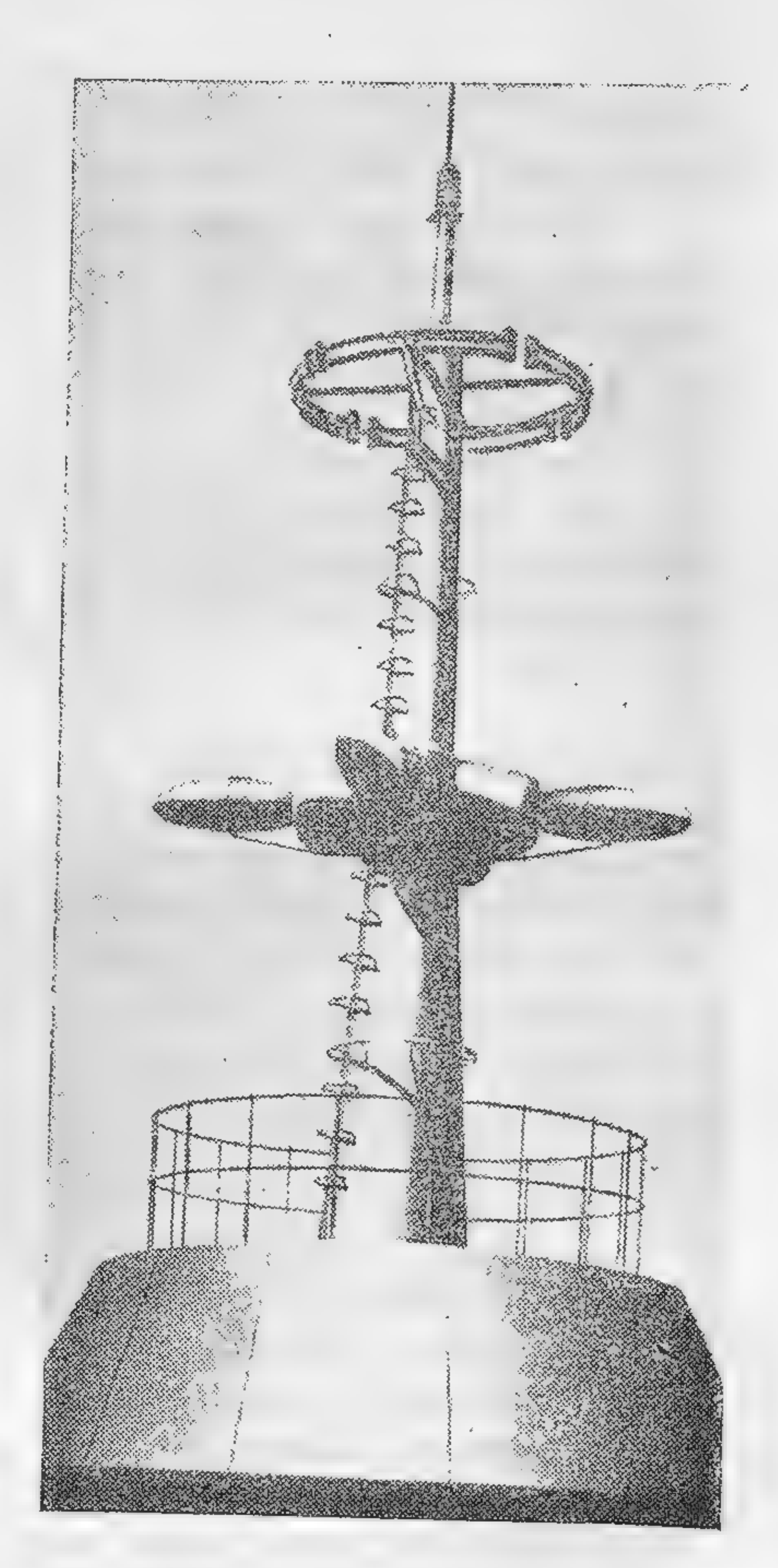


Рис. 4. Современная телевизионная антенна.

Приёмные антенны на коротких волнах не отличаются от антенн передающих радиостанций. На приёмных станциях применяются как остронаправленные антенные полотна, так и ромбические антенны. Было придумано ещё большое количество различных типов коротковолновых антенн, но все они основаны на тех же принципах, как и описанные выше.

С развитием коротковолнового радиовещания в антенной технике необходимо было решить те же задачи, которые стояли и при использовании более длинных волн. Необходимо было вместить в антенну большое количество энергии и передать широкую полосу частот. С увеличением мощности растёт напряжение на конце антенны и начинается истечение электричества в воздух («факельное истечение»). Уменьшение напряжения требует увеличения погонной ёмкости излучающего провода, что также решает вопрос о пропускании полосы частот. Поэтому пришлось увеличивать диаметр излучающего провода и вместо провода применять сигарообразные антенны.

Вопрос о пропускании полосы частот приобрёл большое значение с началом телевизионного радиовещания. Телевидение с его широкой полосой передаваемых частот в несколько мегагерц не могло использовать коротковолновый диапазон и потребовало перехода на ультракороткие волны.

Антенные устройства для ультракоротких волн сначала мало отличались от коротковолновых. Применялись те же полуволновые диполи, та же комбинация этих диполей для получения направленности, но постепенно основные задачи, стоявшие перед ультракоротковолновой техникой, заставили изменить форму антенных устройств.

В отличие от большинства антенн коротковолновых радиостанций, требовавших направленной передачи, ультракоротковолновые антенны, предназначенные для передачи телевидения, стали делаться такими, чтобы они излучали равномерно во всех направлениях. Большая полоса частот, передаваемая при телевидении, потребовала большого затухания вибраторов, а следовательно, большого диаметра излучающих устройств. Антенны с малым волновым сопротивлением (с большой погонной ёмкостью) явились типичными для ультракоротковолновой техники.

Чрезвычайно серьёзным вопросом в антенной технике коротких и, в особенности, ультракоротких волн оказалось питание антенн. Необходимо было согласовать питающий фидер с антенной так, чтобы в нём существовала только бегущая волна и не было стоячих волн, как это имеет место в антенне. Это нужно для уменьшения потерь, а также для того, чтобы фидер сам не излучал, так как в этом случае происходит излишняя потеря

энергии и нарушается диаграмма направленности. При коротких волнах можно применить фидер из двухпроводной, или, в крайнем случае, четырёхпроводной линии и трудности представляет только конструирование переходных устройств для согласования фидера с антенной. Для ультракоротких волн необходимо применять высокочастотный (коаксиальный) кабель, который не даёт излучения.

Дальнейшее развитие техники ультракоротких волн и переход от метрового диапазона к дециметровому и сантиметровому диапазону, который происходит в настоящее время, ведёт к новому перевороту в радиотехнике, а следовательно, и к существенному изменению антенных устройств. Правда, для этих волн можно применять и антенны, аналогичные применяемым для метровых волн, но при очень коротких волнах желательно перейти к другим, более совершенным и более естественным для этих диапазонов антеннам.

Прежде всего нашли применение устройства подобные оптическим, т. е. параболические зеркала в виде параболоидов вращения или чаще цилиндрических параболоидов. Эти зеркала применяются вместо отражающих полотен антенн; помещённый в их фокусе единичный диполь имеет прекрасную направленную диаграмму излучения.

Канализация энергии к диполям, помещённым в фокусе зеркала, производится при метровых волнах с помощью коаксиального кабеля. Волны сантиметрового диапазона дают, однако, новую возможность — выбросить из кабеля центральную жилу и оставить лишь оболочку. Получается полая труба — радиоволновод, внутри которого движется электромагнитная энергия. Антенное устройство при этом должно измениться и быть согласованным с радиоволноводом. Таким излучающим устройством служит рупор, аналогичный акустическим рупорам, дающий хорошую направленность излучения.

Рупор фактически является отверстием, которым кончается волновод. Конечно, это отверстие можно сделать и не в виде рупора, но тогда направленность излучения будет меньше. Таким образом, для сантиметровых волн получается новое излучающее устройство — отверстие в некоторой полой системе. Такая металлическая полая система, возбуждённая при помощи электрического диполя или петельки, связанных с генератором, является колеба-

тельным контуром, но не излучает электромагнитной энергии, так как колебания происходят внутри металлической полости. Если же в этом полом колебательном контуре (эндовибраторе) сделать отверстие, то электромагнитная энергия будет излучаться из него наружу. Сделав не одно, а несколько таких отверстий, можно получить нечто аналогичное системе антенн, от которой следует ожидать направленной радиопередачи. Зеркала, рупоры и щелевые антенны (иначе называемые дифракционными антеннами) являются специфичными для очень коротких волн. Их применение нецелесообразно для волн даже метрового диапазона, но при дециметровых волнах и тем более при волнах сантиметровых, они являются наиболее естественными и, несомненно, получат в будущем широкое распространение.

Так в общих чертах проходило развитие антенной техники, многообразной, как многообразны задачи радиотехнических устройств, постоянно и быстро идущей вперёд вместе с быстро развивающейся радиотехникой.

Развитие антенных устройств обусловлено не только требованиями практики и большой экспериментальной работой, но в значительной мере объясняется бурным развитием теории антенн. Действительно, пожалуй, ни одна из областей радиотехники, за исключением распространения радиоволн, не имеет столь богатой теории, как теория антенн. Уже первая работа Герца, давшая экспериментальное доказательство существования электромагнитных волн, была им дополнена теоретическими изысканиями по излучению диполя. Эта работа, позволившая вычислять напряжённость поля в любой точке пространства при излучении простейшего диполя и давшая определение мощности излучения и сопротивления излучения, легла в основу всех дальнейших теоретических разработок.

Применение теории излучающего диполя к антенне было сделано Абрагамом, который заменил антенну половиной диполя и землю — второй половиной, использовав то обстоятельство, что землю, как хороший проводник для длинных волн, можно рассматривать как зеркало. Таким образом, заземлённая антенна была заменена диполем. Далее Рюденберг определил сопротивление излучения любой антенны для достаточно длинных волн. Ван-дер-Поль продолжил эту работу и получил возможность рассчитать

излучение на любых волнах. Работы Эккерслея установили метод расчёта потерь в земле и позволили найти способ уменьшения этих потерь.

Большой вклад в теорию антенных устройств внесли советские учёные. Здесь прежде всего необходимо отметить работы академика М. В. Шулейкина, который дал инженерный расчёт антенн и формулы для определения действующей высоты и сопротивления потерь в применявшихся тогда антенных устройствах. Его работы и работы автора этой статьи позволили построить теорию антенных устройств, которая легла в основу всех расчётов длинноволновых и радиовещательных антенн в нашей стране. Большую работу по расчёту антенн проделал И. Г. Фрейман.

С развитием коротковолновой техники потребовалось заново пересмотреть некоторые положения расчёта. Вопрос об излучении антенных систем, состоящих из целого ряда вибраторов (синфазных и переменнофазных), решил член-корреспондент Академии наук М. А. Бонч-Бруевич. В дальнейшем расчёт коротковолновых антенн основывался на методе, разработанном автором этой статьи на основе работы Бриллюена. Важная работа, обосновывающая этот метод, названный впоследствии методом наведённых электродвижущих сил, была дана Д. А. Рожанским. Заслуга расчёта коротковолновых антенных устройств принадлежит А. А. Пистолькорсу, который дал таблицы для расчёта сопротивления сложных коротковолновых антенн. Полный расчёт таких антенн с учётом пассивных вибраторов и питающих устройств был сделан В. В. Татариновым. Эти работы дали возможность расчёта всех коротковолновых антенн и в этом отношении советская радиотехника шла впереди других стран.

Из новых идей, воплощённых в строительстве антенн мощных радиовещательных станций, необходимо назвать предложение А. Л. Минца по применению антенны Александерсена и направленных систем для длинноволнового радиовещания (500-киловаттная станция им. Коминтерна) и по применению сигарообразных антенн для коротких волн (радиостанция РВ-96). Группа радиоинженеров нашей промышленности, к которой необходимо отнести М. О. Конторовича, З. И. Моделя, М. С. Неймана, Б. В. Брауде, С. В. Персона, Т. С. Рамма и других, дала

ряд теоретических и экспериментальных изысканий, на основе которых были построены антенны наших длинноволновых и коротковолновых станций. По коротковолновым антеннам следует отметить работы С. И. Надененко по антеннам на кратные волны и работы Г. З. Айзенберга по комбинированным ромбическим антеннам. Последний предложил также весьма оригинальную средневолновую антенну, питающуюся сверху, которая может работать с большим коэфициентом полезного действия и допускает лёгкое регулирование распределения тока вдоль антенны.

Работы советских учёных в области теории и практики антенных устройств являются непосредственным продолжением работы А. С. Попова, давшего первую в мире антенну. Надо думать, что и в дальнейшем, в новой области ультракоротковолновой радиотехники советские учёные дадут ценные работы и сохранят видное место, которое занимает советская наука об антеннах в мировой радиотехнике.

Инж. П. А. ОСТРЯКОВ

РАЗВИТИЕ РАДИОЛАМПЫ

ПЕРВЫЙ ЭТАП

Говоря о развитии радиолампы, обычно начинают с «эффекта Эдисона», т. е. описания того опыта, во время которого Эдисон наблюдал униполярную проводимость вакуума между накалённым волоском угольной лампы и дополнительно вставленным в неё электродом. Однако, годом раньше Эдисона, в 1882 г. Эльстер и Гейтель начали работы, продолжавшиеся до 1889 г. и завершившиеся созданием диода с накалённым катодом и холодным анодом.

В 1894 г. Прис произвёл некоторые количественные измерения эффекта Эдисона, а с 1889 по 1896 г. Флеминг провёл в Лондонском университете ряд работ по изучению и сопоставлению опытов всех предыдущих исследователей. Этот период по существу может считаться временем зарождения радиолампы, которая, таким образом, является до некоторой степени сверстницей радиотелеграфа.

В 1904 г. Флеминг, оформляя своё изобретение, взял в Англии патент на «применение осцилляторной лампы» в качестве детектора в беспроволочном телеграфе. В 1906 г. Ли де-Форест добавил в диод третий электрод-сетку и получил триод, явившийся фундаментом будущей ламповой техники. Эта первая лампа де-Фореста не только была детектором, значительно превосходящим диод Флеминга, но вскоре стала усилителем низкой частоты, и Вестерн-Электрик использовал её в телефонной трансляции.

Лампа, как генератор, стала известной в 1913 г., когда соответствующий патент взял Мейсснер. Однако, открытие способности лампы к генерированию в Америке приписы-

вается Армстронгу и де-Форесту, в Англии — Франклину и Раунду.

В России первая лампа, являвшаяся чисто ионным прибором, была сделана в 1914 г. Николаем Дмитриевичем Папалекси. Усилители, снабжённые этими лампами, поступили на эксплоатацию армейского радиотелеграфа в 1916 г., но вскоре были заменены французскими 3-ter, рассчитанными на электронные лампы. Своих электронных ламп у нас тогда не было и работа фронтовой радиосети находилась в полной зависимости от импорта французских ламп. Подобное положение было нетерпимо и требовало организации работ по разработке отечественных ламп. Первые шаги в этом направлении сделал поручик М. А. Бонч-Бруевич.

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ БОНЧ-БРУЕВИЧА

Первая электронная лампа была сделана Бонч-Бруевичем в 1915 г. на Тверской радиостанции. Лампа делалась на квартире Бонч-Бруевича, так как начальник радиостанции капитан Аристов не разрешал своему заместителю заниматься в служебном помещении посторонними, как он это считал, делами. Бонч-Бруевичу пришлось со всей своей лабораторией перебраться домой. Помогали ему двое таких же энтузиастов — рядовой Бобков и станционный радист — старший унтер-офицер Кабошин.

Стеклодувов не было, поэтому первая электронная лампа поневоле вышла разборной, с непрерывно поддерживаемым вакуумом. Она была собрана под стеклянным колпаком на обеденном столе, сплошь просверлённом дырами. Стеклянные и резиновые трубки, а также всякие мастики и сургуч для рамзаевской и менделеевской замазок систематически поглощали жалованье поручика. Анод и сетка в лампе были железные, вольфрам для катода приходилось брать из осветительных ламп. Форвакуумным насосом являлся поршневой насос, полученный в комплекте со стеклянным колпаком из физического кабинета Тверской гимназии. За ртутным, пароструйным насосом пришлось поехать в Петроград на завод электроламп Айваза.

Во время работы лампы рядовой Бобков вертел колесо форвакуумного насоса, похожего на пожарную машину. Сам Бонч-Бруевич следил за работой ртутного насоса, под-

нимая время от времени грушу Маклеода и усиленно поливая водой менделеевскую замазку, залеплявшую все щели и соединения. Унтер-офицер Кабошин с наушниками сидел за летучей схемой приёмной аппаратуры, слушая Карнарвон и Эйфелеву башню.

Вскоре появились два стеклодува из пехотного полка, один из них, П. Ф. Сафронов, и посейчас работает в Центральном научно-исследовательском институте связи. Горелки стеклодувов работали на карбурированном керосине и в них приходилось подкачивать воздух кузнечным мехом, приводимым в движение ногой стеклодува.



Рис. 1. Приёмная радиолампа ПР1.

Опираясь на такую технику, М. А. Бонч-Бруевич разработал лампочку, названную им катодным реле, которая получила права гражданства. Главное военно-техническое управление предложило Бонч-Бруевичу наладить производство этих ламп и разработать приёмник-усилитель для затухающих и незатухающих колебаний. Этому делу способствовал декан Офицерской электротехнической школы военный инженер-полковник И. Э. Муромцев, в настоящем инженер фирмы Вестингауз, которому принадлежит ведущая роль в развитии мощного лампостроения в Америке.

Лампочка, сделанная в лаборатории Тверской радиостанции, имела два катода, так что когда перегорал один, то лампу переворачивали и вставляли другим концом в гнездо для свановского патрона. Управляющая сетка и анод были сделаны из железной сетки, которая отжигалась в водороде. На анод подавалось напряжение 80 *в*, на катод — 4 *в*.

Однако, обстановка не благоприятствовала творческой работе М. А. Бонч-Бруевича впредь до смены Временного правительства Советской властью. Приезд на Тверскую радиостанцию первого Народного комиссара почт и телеграфов, большевика Вадима Николаевича Подбельского, по-

ложил начало быстрому росту советской радиотехники. В результате его доклада Владимиру Ильичу Ленину была организована Нижегородская лаборатория.

Первыми задачами организованной в Н.-Новгороде радиолаборатории были разработки приёмной радиолампы, генераторной радиолампы и радиотелефонного передатчика.

Чтобы перейти от конструирования по интуиции к конструированию по расчёту, надо было предварительно создать теорию радиолампы и проверить её на опыте. Наша русская теория триода создавалась Бонч-Бруевичем в 1919 г. в условиях блокады и гражданской войны в СССР.

После установления сношений с заграницей оказалось, что теория, данная Баркгаузеном, приводит к идентичным результатам, что и теория, опубликованная М. А. Бонч-Бруевичем в 1919 г. в журнале «Радиотехник» (№ 7), причём Бонч-Бруевич решал задачу в более общем, принципиальном виде, нежели Баркгаузен.

Покончив с разработкой необходимых технических основ, Бонч-Бруевич приступил к конструированию приёмных и генераторных радиоламп, и скоро появилась приёмная радиолампа с алюминиевым анодом, выпущенная под маркой ПР1 (пустотное реле 1) (рис. 1). Лампа ПР1 могла работать во всех приборах, где применялись французские усилительные лампы при напряжении в цепи анода не свыше 100÷120 *в*. Нормальное анодное напряжение лампы составляло 80 *в*, напряжение накала 4 *в* при токе 0,5÷0,55 *а*. Срок службы в нормальных условиях определялся в 400 часов. Сетка при тренировке лампы прогревалась током и имела поэтому два вывода. В мастерских Нижегородской лаборатории было налажено массовое производство этих ламп.

МОЩНЫЕ РАДИОЛАМПЫ

Генераторные радиолампы с водяным охлаждением, являющиеся как у нас, так и за границей, основой мощного радиостроения, были изобретены в Нижегородской радиолаборатории Народного комиссариата почт и телеграфов. В этом отношении русская радиотехника намного опередила зарубежную.

Замечательным является тот факт, что генераторные лампы были созданы в тяжёлые годы блокады и гражданской

войны. Успехи советских специалистов явились неожиданностью для иностранцев и очень быстро получили всеобщее признание. Так например, осенью 1923 г. Нижегородская лаборатория получила письмо от немецкой фирмы Телефункен, в котором граф Арко от имени фирмы просил прислать несколько наших советских 25-киловаттных ламп с медными анодами для установки их в Науэне в целях пробной эксплоатации[1]. Далее граф сообщал, что одновременно в Науэне будет оборудована установка из наиболее мощных 5-киловаттных германских ламп.

На этом разительном факте следует немного задержаться.

Для анодов мощных радиоламп нужен был молибден или тантал. У нас в стране этих металлов не было. Вместо них имелись легкоплавкие никель и алюминий. Казалось, что советское лампостроение не сможет развиваться. Однако, русские радиотехники не только нашли выход из создавшегося положения, но и дали решение, ставшее фундаментом мощного лампостроения в международном масштабе. Бонч-Бруевич решил использовать теплоотводящие свойства воды, охлаждая ею аноды, сделанные из легкоплавких металлов. Этим он решил проблему анодов мощных генераторных ламп.

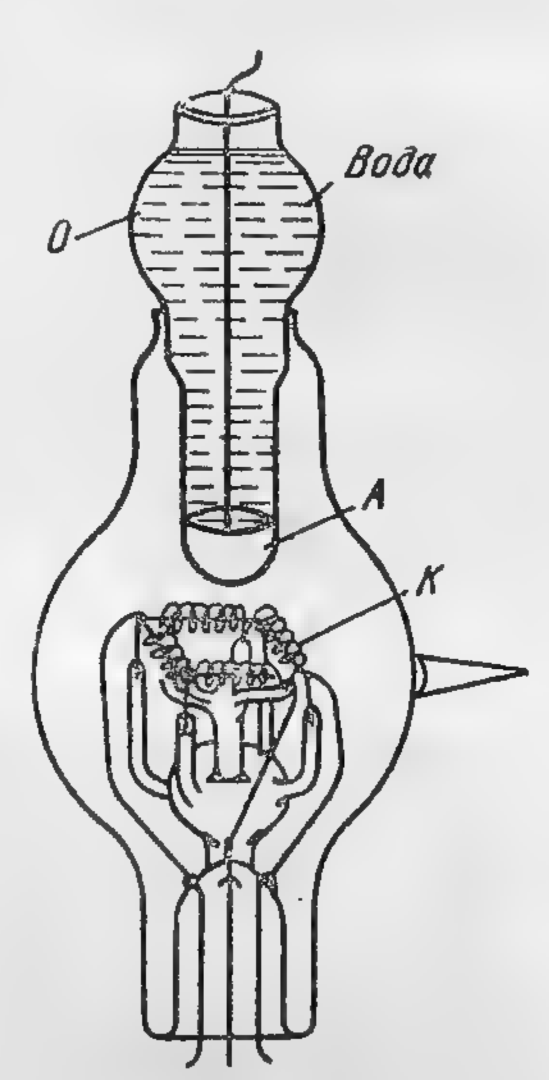


Рис. 2. Первая охлаждаемая водой лампа Бонч-Бруевича.

На рис. 2 показана первая охлаждаемая водой лампа Бонч-Бруевича. Анод в виде небольшого платинового колпачка омывался стоячей водой, налитой в баллон над анодом. Лампа генерировала полезную мощность 40 *вт*. В следующей лампе П-образный анод был сделан из меди, покрыт никелем, верхним концом припаян к платиновому колпачку и охлаждался циркулирующей водой. Мощность лампы возросла до 100 *вт*.

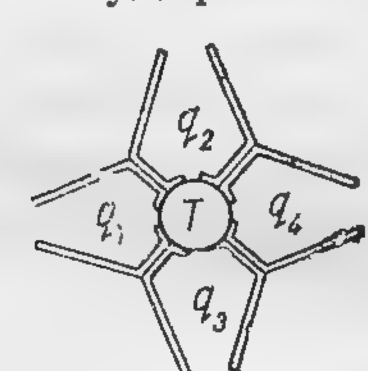
И, наконец, более мощный цилиндрический анод из красной меди с такой же системой охлаждения, как и пре-

[1] Журнал ТиТбп № 22, 1927 г., стр. 532.

дыдущий, повысил мощность лампы до 950 *вт*. Это была первая лампа, на которой начали опыты радиотелефонирования.

Просматривая иностранную литературу того периода, мы не находим даже упоминаний о лампах столь высокой мощности. Так например, в ноябрьском выпуске «Radio Rewiew» за 1919 г. описывалась лампа с лучистым охлаждением анода и полезной мощностью всего 200÷400 *вт*, т. е. вдвое меньше, чем у нас.

Так реагировала русская техническая мысль на попытки заграницы изолировать и задушить Советское государство.



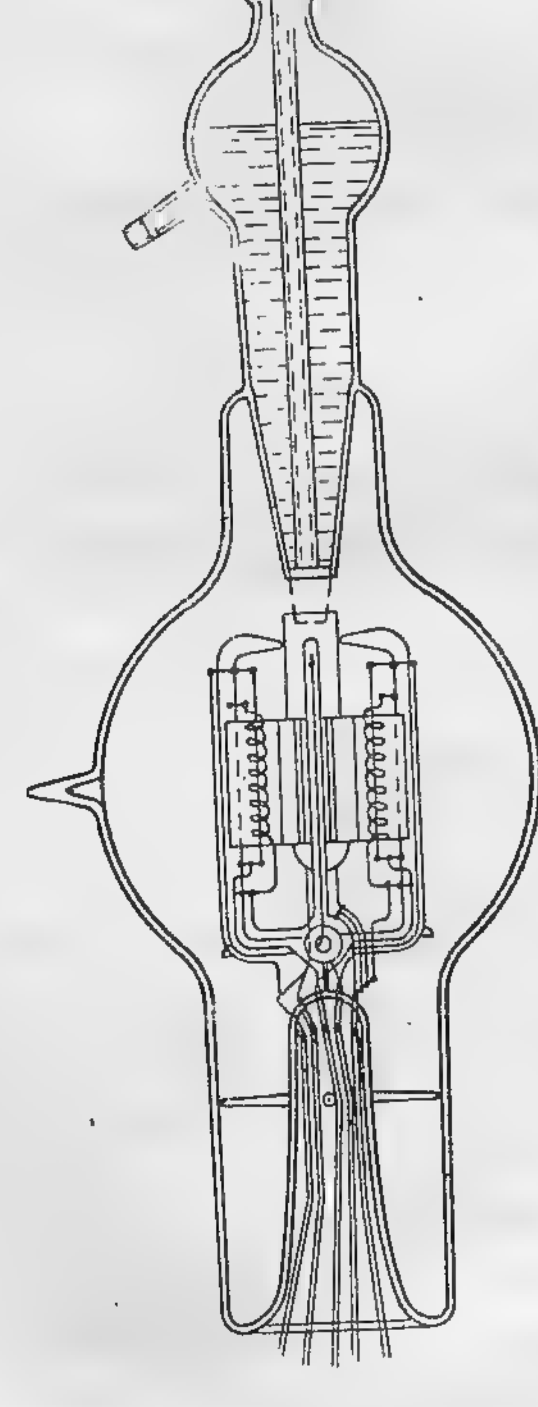


Рис. 3. Генераторная лампа, состоящая из 4 отдельных ламп.

Осенью 1920 г. на Ходынской радиостанции был установлен радиотелефонный передатчик с мощностью в антенне до 2 *квт*, работавший на русских лампах, соединённых впараллель. Москву услышали в Чите, Обдорске, Ташкенте и Берлине.

Вскоре генераторная лампа была несколько реконструирована. Анод получил своеобразное очертание (рис. 3), и лампа в сущности стала четырьмя лампами, работающими впараллель. Лампа имела четыре катода, каждый со своей сеткой и своим анодом, который, в свою очередь, являлся частью общего анода. Эта оригинальная русская конструкция была впоследствии воспроизведена в мощной разборной английской лампе Метрополитен-Виккерс, где число элементарных ламп, работающих впараллель, было не четыре, как у Бонч-Бруевича, а значительно больше.

Нормально лампа работала на двух катодах, два других являлись резервными. Мощность, генерируемая одной лампой при анодном напряжении 2000 *в*, составляла 1,2 *кв*.

Эти лампы были, в частности, использованы в генераторе и модуляторе первой радиотелефонной станции им. Коминтерна, построенной по инициативе Владимира Ильича Ленина.

Владимир Ильич внимательно следил за строительством этой станции, регулярно требовал докладов о ходе строительства, оказывал необходимую помощь. В сентябре 1922 г. работы по сооружению первой в России радиотелефонной станции были закончены и станция начала передачи. «Газета без бумаги и «без расстояний» прорвала блокаду и вышла за пределы Советского государства.

В середине 1923 г. Бонч-Бруевич закончил разработку новой лампы, дававшей 30 *квт* колебательной мощности и являвшейся самой мощной лампой в мире.

Через два года, в 1925 г., появилась новая лампа Бонч-Бруевича мощностью в 100 *квт*.

Радиолампами в СССР, кроме группы Бонч-Бруевича, занимался ряд инженеров и учёных, чьи имена со временем приобрели широкую известность.

Лишь немногим позже Бонч-Бруевича начала работать лаборатория А. А. Чернышёва и лаборатория М. М. Богословского, при активном участии его помощника С. А. Векшинского. В эту группу вошёл А. Г. Александров и другие, и вся она явилась ядром первого электровакуумного завода Треста слабых токов, который с 1923 г. начал массовый выпуск радиоламп с широкой по тому времени номенклатурой — один-два типа приёмно-усилительных ламп и четыре типа генераторных с мощностью до 500 *вт*.

В 1925 г. Трест слабых токов провёл два крупных мероприятия. Он собрал на Электровакуумном заводе почти всех специалистов, занимавшихся разработками радиоламп. В основную группу работников завода вошли Л. И. Мандельштам, Н. Д. Папалекси, Д. А. Рожанский, С. А. Зусмановский, К. В. Стахорский и другие. Вторым мероприятием явился договор с французской генеральной компанией о внедрении в нашу промышленность французских ламп. По-видимому, одним из прочих мотивов, послуживших причиной заключения договора, было желание иметь готовую технологию для массового производства.

Электровакуумный завод быстро освоил производство усилительных ламп «R» и «Микро», их технология была

неплохо продумана. Ножка лампы шла из-под штампа с применением контактной сварки. «Микро» имела новинки: торированный катод и магниевый геттер.

Положение с генераторными лампами было значительно хуже. Генераторные лампы оказались с чрезвычайно форсированными катодами и быстро перегорали. Французские специалисты в погоне за высоким кпд шли на чрезмерное уменьшение угла отсечки, поэтому для получения достаточной колебательной мощности требовалась повышенная амплитуда анодного тока, что достигалось повышением температуры катода.

В электрическом отношении французские лампы были непрочны, их баллоны часто подвергались высокочастотному пробою. Аноды изготовлялись из никеля, что требовало больших баллонов. Подобными же недостатками обладала генераторная лампа с водяным охлаждением мощностью 20 *квт*. Анод этой лампы изготовлялся из феррохрома—сплава с низкой теплопроводностью и большим разбросом величины коэфициента расширения.

Таким образом, собравшимся в тресте русским специалистам, имевшим уже свой большой опыт, пришлось в первую очередь заняться устранением недостатков ламп, привезённых из Франции. Пришлось переконструировать катоды, изменить форму баллона, ввести электрические и тепловые экраны и т. п. В конечном счёте после исправления недостатков от генераторных ламп ничего французского не осталось.

С 1928 г. всё производство радиоламп было сосредоточено на заводе «Светлана», лабораторией которого руководил С. А. Векшинский. Отечественная вакуумная промышленность крепко стала на собственные ноги. Перед второй мировой войной «Светлана» выпускала весь комплекс современных электровакуумных приборов: приёмно-усилительные и генераторные лампы, газотроны, тиратроны, игнитроны, а также электроннолучевые и телевизионные трубки.

МАЛОМОЩНЫЕ ЛАМПЫ

Маломощными лампами называют лампы, которые по величине рассеиваемой на аноде мощности равноценны с приёмно-усилительными лампами, но которые иногда по существу выполняют совершенно иные задачи. Применение

электронной лампы давно вышло за границы радиотехники в том её виде, как мы это обычно понимаем. Но даже и в её пределах имеется много областей, где маломощная лампа далека от детекторно-усилительных функций и является или преобразователем частоты или электронно-лучевым прибором, или же превращает оптическое изображение в электронное в каком-либо фотоэлектрическом приборе. В объём обзорной статьи нельзя уложить даже простое перечисление всего многообразия маломощных ламп, поэтому мы ограничимся лишь беглым просмотром эволюции электронной лампы для радиоприёмных устройств.

Развитие трёхэлектродной приёмной лампы началось с добавления к триоду второй сетки. Первым это сделал в 1913 г. Лангмюр, который расположил вторую сетку возле катода. Вторым был Шотки, расположивший её у анода. Эта сетка, усовершенствованная Хэллом, повысила коэфициент усиления лампы при том же анодном напряжении и как экранирующая уменьшила, примерно, в сто раз ёмкость между анодом и управляющей сеткой. Добавление к двухсетчатой лампе ещё одной сетки, расположенной между анодом и экранирующей сеткой, обратило триод в пентод и свело на-нет динатронный эффект.

Электроды пентода могут коммутироваться в весьма многочисленных комбинациях, из которых две наиболее употребительны.

Первая, когда антидинатронная сетка закорочена с катодом и когда такой пентод используется как свободный от искажений усилитель высокой или низкой частоты, и вторая,— когда пятая сетка служит не только для уничтожения динатронного эффекта, но и для управления, одновременно с первой, управляющей, сеткой анодным током. В этом случае антидинатронная сетка имеет свой отдельный вывод. Пентоды не только по коммутации своих электродов, но и по их конструкции могут иметь разнообразное назначение: высокочастотные усилители, низкочастотные усилители и пентоды-генераторы.

Собственно на пентоде закончилось усовершенствование электронной лампы как детектора-усилителя, так как все его сетки служат для улучшения характеристики и параметров лампы путём ослабления вредных влияний различных факторов вроде междуэлектродных ёмкостей и явлений вторичного излучения.

Дальнейшее усовершенствование приёмной лампы преследовало уже иные цели: или создание лампы для специальных схем или же для лучшего совмещения в одной лампе нескольких (двух-трёх) отдельных ламп.

Так например, в приёмных устройствах для борьбы с замираниями может быть использована четырёхсеточная лампа, называемая «фединг-гексодом», — шестиэлектродная лампа с переменными параметрами, в которой сравнительно просто достигается изменение крутизны в несколько тысяч раз. Эти же гексоды можно использовать для совершенно иных целей, в качестве смесительных ламп, если ограничиться пониженными требованиями в отношении устойчивости частоты. В случае применения этих ламп имеет место связь между детекторным и гетеродинным контурами приёмника через ёмкость между второй и третьей сетками, что приводит к влиянию настройки одного контура на другой.

От последнего недостатка можно освободиться применением пентагрида—пятисеточной лампы, называемой гептодом-преобразователем частоты. Пятая сетка уменьшает вредную междусеточную ёмкость, свойственную гексоду, и этим сводит на-нет влияние связи между контурами в супергетеродинных приёмниках. Гептод-преобразователь может быть усовершенствован добавлением шестой сетки, расположенной возле анода. Эта лампа становится подобной в некотором роде пентоду, если остальную систему сеток рассматривать как триодную группу. В результате добавления шестой, антидинатронной, сетки получается восьмиэлектродная лампа — октод, отличающаяся бесшумностью, способностью к неискажаемому усилению и более мощным детектированиям.

Для компактности, а также преследуя прочие цели, конструктора пошли на совмещение в одном баллоне нескольких ламп. При этом иногда часть электродов является общими для совмещённых ламп, а иногда обобщения электродов не делается. Примером второго случая может служить двойной триод-усилитель по классу В, имеющий два самостоятельных катода. Более сложной является лампа «диод-диод-пентод», имеющая при общем катоде три анода и три сетки. Эта лампа детектирует высокую и усиливает полученную звуковую частоту. Третий анод исполь-

зуется как выпрямитель в схеме приёмника с авторегулировкой громкости.

Ещё более рациональным оказывается принцип совмещения в микшерных лампах. Металлический триод-гексод, в котором триод, выполняющий роль гетеродина, совмещён со смесительным гексодом, отличается большей стабильностью по частоте, чем пентагрид.

РАЗБОРНЫЕ, НЕПРЕРЫВНО ОТКАЧИВАЕМЫЕ ЛАМПЫ

Идея непрерывно откачиваемой лампы вероятно столь же стара, как и сам метод откачки, но первая электронная лампа Бонч-Бруевича была в дополнение к этому ещё и разборной, что, впрочем, получилось против воли её автора. Мысль о создании специально разъёмной лампы возникла ещё во время войны 1914 г. и принадлежала Макрорк, Фортескью, Бриану и Грей. Однако, многие препятствия помешали подобной лампе выйти за пределы лаборатории и первым из этих препятствий была конструкция насоса.

Стандартными насосами являлись ртутные конденсационные насосы, пригодные для разборных ламп лишь с дополнениями, которые сводили на-нет эксплоатационные преимущества разборной лампы. Для того, чтобы пары ртути не попадали из насоса в лампу, на пути между ними ставили так называемую «ловушку» — резервуар, наполненный твёрдой углекислотой или жидким воздухом. Пары ртути, устремляющиеся в лампу, её не достигали, замерзая на пути в «ловушке» и вакуум доходил до $10^{-5} \div 10^{-6}$ *мм.*

Постоянное пополнение «ловушек» хладагентом делало такую установку невыгодной для эксплоатации. Поэтому вопрос о разборных лампах был отложен впредь до разработки соответствующего насоса, вернее до отыскания такой жидкости, которая бы кипела, не разлагаясь при малом давлении, и обладала бы в 1000 раз меньшей, чем ртуть, способностью улетучиваться. В 1929 г. такая жидкость (масло) была найдена, но это ещё не решило до конца проблему разборных ламп. Возник второй вопрос — об уплотняющих замазках и мастиках.

Трудность решения этого вопроса заключалась отнюдь не в том, что нельзя было найти битума достаточно пла-

стичного при той или иной температуре, а в том, что был необходим битум с чрезвычайно малым давлением своих паров, так как вакуум в разборной лампе определяется в одинаковой мере как скоростью и мощностью конденсационного или иного насоса, так и качеством уплотняющей мастики. Если внутренность лампы обмазана мастикой, то вакуум в лампе определяется не скоростью откачки насоса, а только упругостью паров мастики, т. е. какой бы мощности ни был насос вакуум не будет выше давления паров мастики до тех пор, пока она вся не испарится.

При мощном насосе, обладающем скоростью, например 30 *м/сек,* при общей поверхности замазки в лампе 1 *см*, наилучший вакуум, который может быть достигнут, равен 25% упругости паров уплотняющей мастики. Как видно, мастика играет роль не меньшую, чем сам насос, если вспомнить, что она должна обладать дополнительным свойством выдерживать, не размягчаясь, температуру до 50°, которую имеет вода, охлаждающая анод и соединения лампы.

Наконец, требовалось решить вопрос о взаимном креплении частей лампы — вопрос о форме и очертании соприкасающихся поверхностей.

Когда все эти вопросы были разрешены, когда появился масляный диффузионный насос и нужное для него масло, когда найденная уплотняющая замазка благодаря ничтожному давлению её собственных паров обеспечила вакуум, когда избрали плоские соединения фланцев, отшлифованных с точностью одной-двух световых волн, когда к этому добавили специальные краны и контрольные вакуумные реле и когда поняли, что фарфоровые кольцевые изоляторы пригодны для низких, а кварцевые для высоких частот, — тогда разборная лампа стала претендовать на место в эксплоатации.

Конечно, в свете этих соображений, появившаяся в 1923 г. во Франции 10-киловаттная разборная лампа Гольвега не смогла конкурировать с запаянными лампами.

Лампа Гольвега работала на сеть Эйфелевой башни, развивая в антенне 8 *квт* при анодном напряжении 5000 *в*. Режим её был несколько форсированный: чрезмерная температура катода (2700°К) определялась 36 *а* тока накала при диаметре вольфрамовой нити 0,5 *мм*.

Если эту первую французскую разборную лампу 1923 г.

сравнить с лампой мощностью 150 *квт*, выпущенной впоследствии французской генеральной компанией, то станет ясным, какие изменения претерпела конструкция при выполнении перечисленных условий для разборной лампы.

Лампа генеральной компании имеет чрезвычайно развитое водяное охлаждение: охлаждается анод, имеющий продольные каналы, охлаждаются металлические, соприкасающиеся с кварцем, кольца, чтобы смазывающая их мастика не нагревалась выше нормы, охлаждаются вводы накала, и, наконец, охлаждается водой сетка. Вертикальные трубки сетки входят своими концами в два полых кольца. Вода поступает в одну половину нижнего кольца, поднимается по половине всех трубок в верхнее, откуда по второй половине их опускается во вторую часть нижнего кольца и выбрасывается из лампы.

Рис. 4. 30-*квт* лампа Бонч-Бруевича (*а* — общий вид, *б* — ввод накала, *с* — часть нити накала).

Примерно, такая же модель лампы, но с сеткой, не охлаждаемой водой, развивала до 120 *квт* колебательной мощности. Английские разборные лампы Метро-Виккерс выпускаются различных мощностей: от 30 *квт* полезной мощности для коротких (16÷40 *м*) волн до 500 *квт* мощности для длинных волн (Регби). Изолирующие цилиндры в первом случае кварцевые, во

втором — фарфоровые. Установка оборудована контролем вакуума: трубками по принципу Тесла и вакуумметром по принципу Пирани.

Лампа с 500 *квт* подводимой мощности имеет высоту всей установки 4 *м* и наибольший диаметр 3,6 *м*. Вес её больше тонны. Длина анода 65 *см* и диаметр 35 *см*. Лампа фактически состоит из 10 параллельно включённых ламп, имеющих общий анод, т. е. по конструкции аналогична с лампой Бонч-Бруевича, осуществлённой в 1920 г.

В Советском Союзе разборные лампы появились в 1934 г., когда группа специалистов во главе с А. Л. Минцем и Н. И. Огановым разработала лампу оригинальной конструкции. Молекулярный насос этой лампы также разработан Н. И. Огановым. Основным свойством советской разборной лампы, отличающим её от заграничных ламп, является быстрота регенерации после перегорания катода. Для этой операции лампа Минца-Оганова требует 1,5 ÷ 2 часа против 9 ÷ 14 часов, которых требуют зарубежные лампы.

В 1941 г. отечественная радиотехника располагала разборными лампами с значительным рассеиванием на аноде. В результате работ А. М. Кугушева, П. Н. Андреева, И. Д. Карповского и других мощность, рассеиваемая на анодах разборных ламп, доведена до 500 и даже 800 *квт*.

ОПТИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ РАДИОЛАМПЫ

Представление о том, что нити и стержни (траверзы) сетки экранируют анод от электронов, образуя своего рода тени и повторяя на его поверхности рисунок сетки, было бы естественным, если упрощённо воспринимать теории Лангмюра и Шотки, т. е. если считать:

1) что управляющая сетка может быть заменена некоторой условной поверхностью, лежащей в плоскости существующей сетки,

2) что от проницаемости этой гипотетической поверхности зависит прохождение электронного тока к аноду и

3) что сам по себе ток является некоей связанной диффузной средой, двигающейся от катода к аноду, диффузной потому, что при малых скоростях и больших плотностях тока взаимное отталкивание электронов искривляет их пути, заданные статическим полем, вследствие чего

имеет место стремление к заполнению током всего объёма между сеткой и анодом.

Работы Кнолля, Шлемлиха и Гарри Томсона внесли существенные поправки в такое, оказавшееся вульгаризированным, представление и показали, что электронный ток в радиолампе является не диффузионной средой, а имеет форму направленного пучка лучей и что состояние этого пучка в широких пределах зависит только от отношения

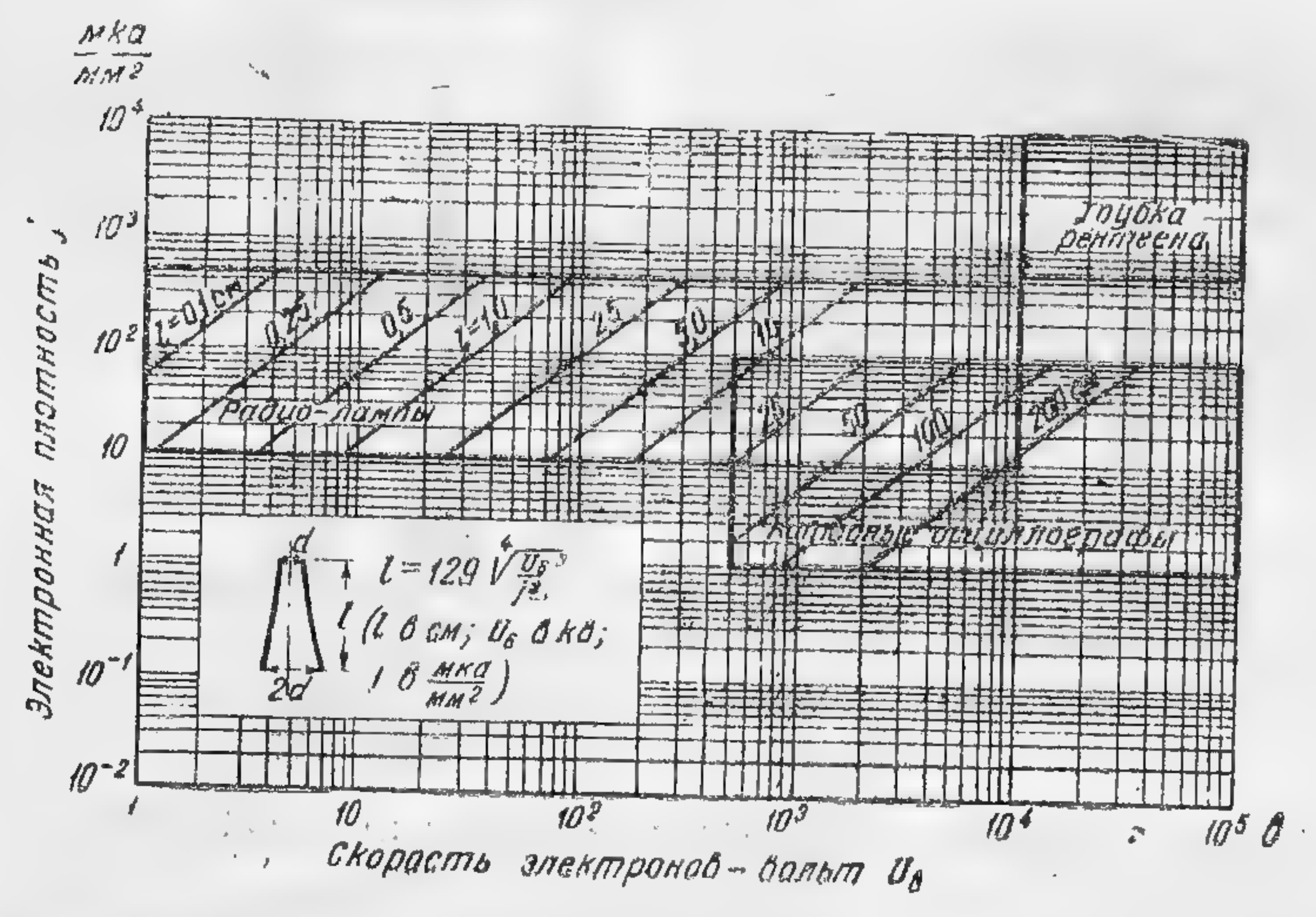


Рис. 5. Зависимость Кнолля.

напряжения на сетке к анодному напряжению. Поскольку это так, т. е. поскольку ток имеет лучевой характер, оперировать с ним можно лишь методами электронной оптики.

Устанавливая критерий пригодности электронно-оптической концепции на основе известной формулы Ватсона, Кнолль ввёл ряд поправок и определил пределы, в которых к электронному току можно применять законы оптики. На рис. 5 зависимость, полученная Кноллем, представлена в графическом виде, там же дана и исходная формула. Область, ограниченная плотностями тока, обычными для радиоламп, и скоростями электронов до 10^4 *в*, очерчена на диаграмме прямоугольником.

В мощных радиолампах расстояние между сеткой и катодом не превышает 2÷3 *см*, а напряжение на аноде до-

стигает 11÷12 *кв*. При таком напряжении, как видно из диаграммы, диаметр пучка удваивается на расстоянии 100÷200 *см* от его выхода. Из этого следует, что на расстоянии 2 *см* увеличение диаметра будет порядка лишь 2÷3%, т. е. пучок будет состоять практически из параллельных лучей, к которым могут быть полностью применены законы геометрической оптики (отражения, расхож-

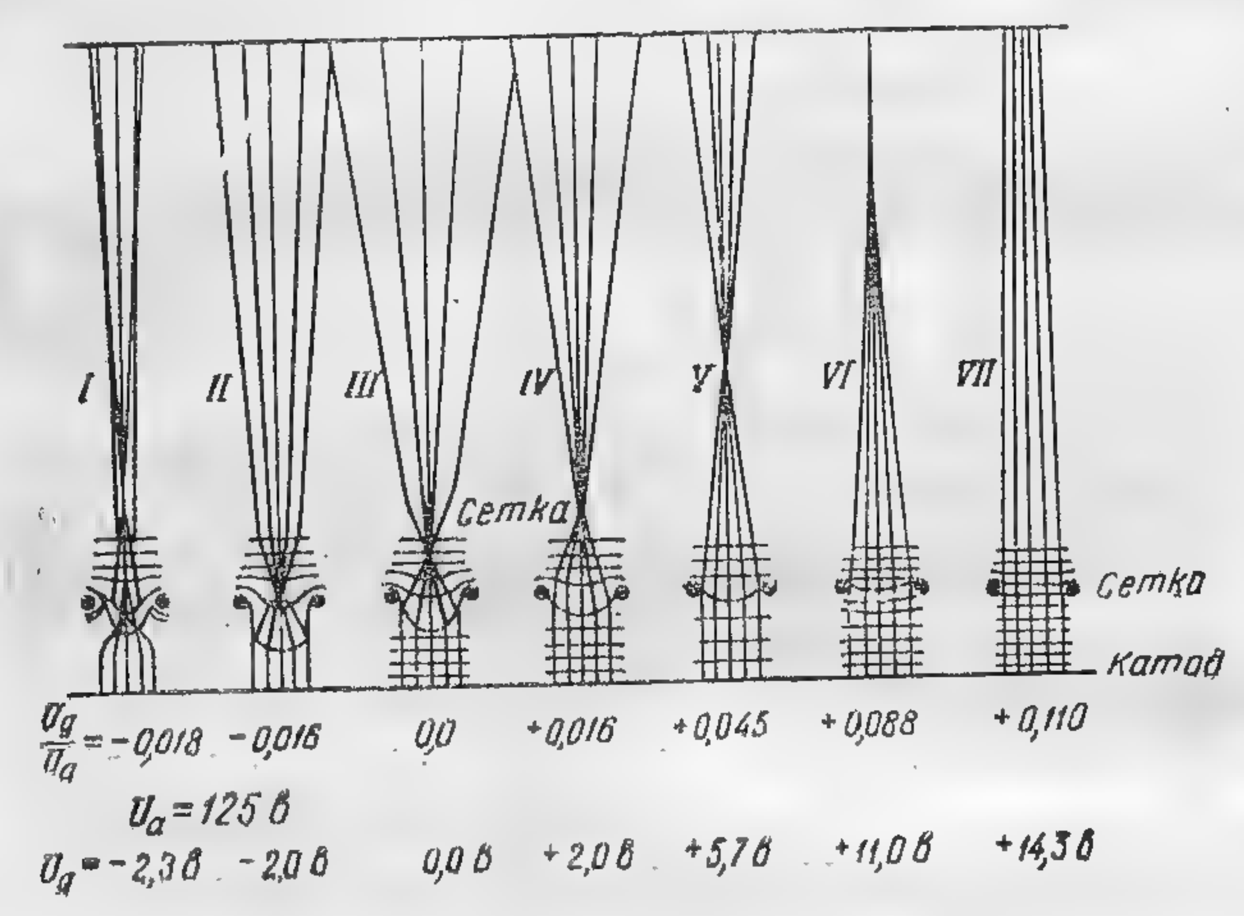


Рис. 6. Карта электронных токов в усилительной лампе.

дения, собирания в фокус) и её инструменты: призмы, линзы, зеркала и т. п.

Если в световой геометрической оптике средой, пропускающей лучи и определяющей их направление и форму, является стекло, кварц и т. п., то для электронных лучей аналогичной средой служат эквипотенциальные поверхности электростатического поля, являющегося результатом совместного действия потенциалов анода и сетки.

Картины электростатических полей и лучей электронов удалось получить в результате работы над увеличенными моделями трубок и ламп в электрометрических ваннах. На рис. 6 представлена карта электронных токов в усилительной лампе. Как видно, при изменении потенциала сетки от 0 до + 11,0 *в* луч, бросаемый отверстием сетки на анод, меняет свою форму от широкого веера до точечного острия, куда собраны все лучи пучка.

Совершенно и ином свете представилась электронная лампа, когда рассмотрению подвергся вопрос о скоростях электронов в её междуэлектродном пространстве. Этот вопрос не возникал при рассмотрении процессов наиболее сложных многоэлектродных ламп, и казалось, что суть дела не в скоростях электронов, а в их количестве и траекториях. Однако, Арсеньева, Нейман, Хейл, бр. Вариан посмотрели на это иначе и поставили во главу угла вопрос о различной скорости, с которой отдельные электроны проходят управляющую сетку. В результате работ перечисленных авторов получилось устройство, именуемое клистроном [1], румбатроном, эндовибратором (Нейман), которое по существу представляет лампу, совместившую в себе и собственно лампу, и колебательный контур, и органы самовозбуждения.

Получилась, если так можно сказать, колебательная радиолампа с равномерно распределёнными ёмкостью и индуктивностью.

---

[1] О некоторых подробностях специальных ламп подобного типа рассказано в статье Б. А. Введенского и Ю. И. Казначеева «Ультракороткие волны», напечатанной в данном сборнике.

Проф. А. Л. МИНЦ

РАЗВИТИЕ ТЕХНИКИ РАДИОПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Едва ли будет преувеличенным утверждение, что прогресс радио резко отличается от развития большинства областей науки и техники не только своим бурным ростом, но и наличием ряда революционных этапов, менявших техническое лицо радиоаппаратуры и заставлявших заново переучиваться радиотехников, желавших итти в ногу со своей отраслью.

За истекшие 50 лет, прошедших со дня исторического доклада изобретателя радиотелеграфа А. С. Попова, радиотехника обогатилась целым рядом новых применений, как радиотелефония, радионавигация, передача неподвижных изображений, телевидение, радиолокация, радиотермия, радиотерапия и др.

Для этого оказалось необходимым научное изучение и техническое освоение всего широчайшего спектра электромагнитных колебаний, начиная с длин волн, измеряемых десятками тысяч метров, и кончая длинами волн порядка 1 *см.*

Все указанные выше применения по мере роста числа работающих радиостанций, а также в связи с постепенным переходом в область всё более коротких волн, заставили радиотехнику четыре раза изменить принципиальные основы одного из главных процессов радиопередачи — генерирования электрических колебаний. Эти изменения составляют четыре основных этапа развития техники радиопередающих устройств, а именно: искровые передатчики,

дуговые генераторы, машины высокой частоты и, наконец, ламповые радиостанции.

Естественно, что хронологически невозможно провести границу между этими периодами, так как появление новых систем радиопередатчиков не сразу завоёвывало им признание. Разные методы генерирования колебаний сосуществовали в течение ряда лет, пока ламповые радиостанции не заменили собой все остальные системы, так как они оказались наиболее гибкими в отношении модуляции, наиболее стабильными по частоте, и, что важнее всего, наиболее пригодными для генерирования средних, коротких и ультракоротких волн.

ИСКРОВЫЕ ПЕРЕДАТЧИКИ

В 1894—1895 гг. А. С. Попов, создавая свою, ставшую классической, схему грозоотметчика, быстро оценил возможность применения изобретённого им первого радиоприёмного устройства и его антенны для осуществления телеграфирования без проводов. В поисках излучателя электромагнитных волн Попов сначала занялся видоизменением вибраторов Герца и Риги, придав им форму симметричной системы со значительными ёмкостями на концах (в пучностях напряжения) и с искровым разрядником в середине системы (в пучности тока).

Для увеличения дальности действия установки Попов стремился повысить энергию своего искрового передатчика, получавшего питание от аккумуляторной батареи, подключённой через телеграфный ключ и прерыватель к первичной обмотке катушки Румкорфа, вторичная обмотка которой была соединена с электродами разрядника. Попов мог добиться повышения энергии своего излучателя только за счёт увеличения одного или обоих множителей общеизвестного выражения для энергии заряжённого конденсатора

$$A = \frac{CU^2}{2}.$$

Поэтому, чтобы увеличить множитель C — ёмкость системы, — к обоим концам вибратора были прикреплены металлические диски диаметром около 1 *м*. Максимальное напряжение U между половинами вибратора, понятно, определялось пробивным напряжением искрового разряд-

ника, выполненного в виде двух металлических грибков. Чтобы повысить пробивное напряжение разрядника, Попов в начале своих опытов погрузил электроды в масло. Однако, вскоре он пришёл к выводу, что простое раздвигание электродов разрядника в воздухе также позволяет повысить напряжение между половинами вибратора.

Рабочие длины волн вибраторов Попова, судя по их геометрическим размерам, находились в диапазоне метровых волн. Впрочем это обстоятельство не должно было играть значительной роли, так как искровой промежуток, врубленный в середину вибратора, равно как и кохерер с его большим сопротивлением, включённый у основания приёмной антенны, вносили столь большое затухание в излучающую и принимающую системы, что нельзя было говорить о настройке в резонанс приёмной и передающей станций.

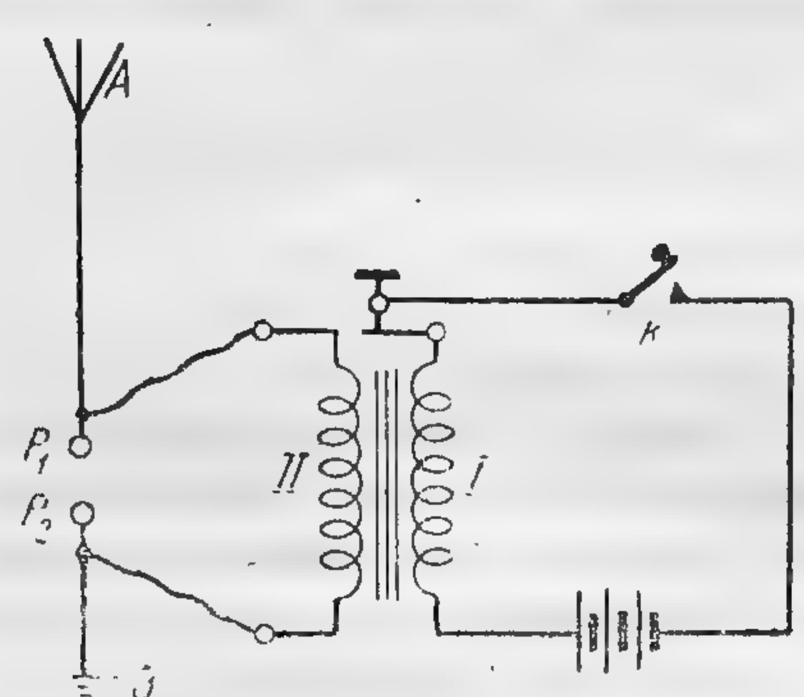


Рис. 1. Схема передатчика А. С. Попова.

Вскоре Попов убедился, что значительно лучшие результаты, в смысле дальности действия беспроводной связи, получаются, если к одному из полувибраторов присоединить поднятую высоко проволочную сеть, а другой полувибратор соединить с заземлением. При этом оказалось, что ёмкость системы и длина волны передающего устройства практически не зависят от вибратора, а определяются размерами и конфигурацией антенного провода. В связи с этим Попов на первых же своих радиопередающих станциях перешёл к схеме, изображённой на рис. 1. Антенна *А*, подвешенная на деревянной мачте высотой до 50 *м*, соединялась с одним шариком—P_1 разрядника; второй шарик P_2 соединялся с заземлением *З*. Питание антенной системы от вторичной обмотки катушки Румкорфа происходило так же, как в первом передатчике Попова. При нажатии ключа *К* в первичной обмотке I катушки Румкорфа проходит прерывистый ток, индуктирующий ток высокого напряжения во вторичной обмотке II. Антенна

получает заряд до тех пор, пока напряжение между ней и землёй не достигнет пробивного напряжения разрядника. После этого антенна разрядится колебательным образом через искровой промежуток, излучая электромагнитные волны. Ёмкость антенны могла быть сделана значительно большей, чем у первых вибраторов Попова. Однако, наличие в цепи антенны разрядника приводило к большим потерям энергии в искре и делало колебания в антенне сильно затухающими.

Первые передатчики Маркони и Слаби не отличались по принципу действия и схеме от описанного передатчика А. С. Попова.

Увеличение мощности первых радиостанций с так называемой «простой схемой» производилось только за счёт развития антенной системы, так как увеличение напряжения между антенной и землёй, связанное с необходимостью раздвигать электроды искрового промежутка, обязательно приводило к повышению потерь в искре.

Браун отчётливо понял этот недостаток простой схемы и в 1899—1900 гг. выступил с предложением «вывести» искровой разрядник из цепи антенны с тем, чтобы затухание антенной цепи определялось только излучением и неизбежными потерями в земле и окружающих предметах. В схеме Брауна (рис. 2) антенна A через посредство высокочастотного трансформатора $L_K L_A$ индуктивно связана с замкнутым колебательным контуром $C_K P L_K$, в котором к электродам разрядника P подводится высокое напряжение от вторичной обмотки катушки Румкорфа или какого-либо трансформатора.

Рис. 2. Схема передатчика Брауна.

В этом случае ёмкость конденсатора контура C_K можно выбрать достаточно большой, чтобы запасти в ней значительное количество энергии, которая при колебательном разряде через искровой промежуток P, могла бы возбудить на собственной частоте антенную систему. Если собственные частоты контура $C_K L_K$ и антенны AL_A близки,

то получается связанная система контуров, из которых один ($C_K L_K$) обладает большим декрементом затухания, а второй (AL_A) сравнительно низким декрементом. Благодаря этому можно говорить о «настроенных» системах излучения.

Вынесение искрового промежутка из антенной цепи открывало перспективу осуществления одновременной работы нескольких радиостанций, расположенных в одном районе. Этому способствовало и вынесение детектирующих систем из цепи приёмной антенны, что позволило перейти к настройке приёмных устройств.

В опытах А. С. Попова в 1901 г. эти системы также получили своё практическое осуществление.

При сильной связи замкнутого контура с антенной в передатчиках со «сложной схемой» Брауна возникали ко-

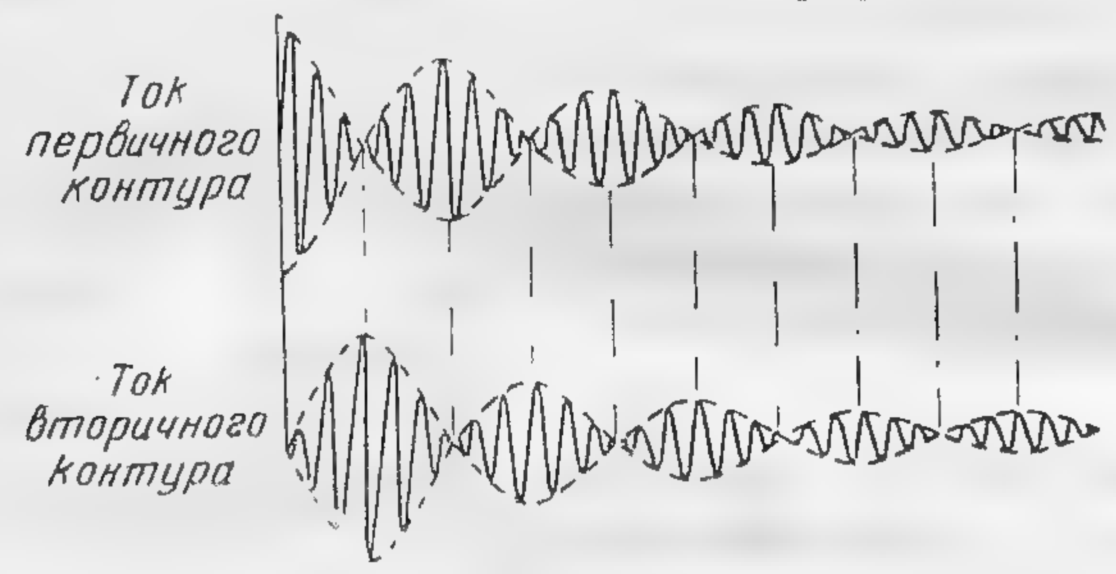


Рис. 3. Диаграммы токов в контурах передатчика Брауна.

лебания, соответствующие двум частотам связи. Кроме того, энергия, накопленная до разряда в замкнутом контуре, после разряда передавалась в антенну, откуда она после затухания основного колебания в замкнутом контуре, опять возвращалась в контур и давала новую вспышку искры в разряднике и т. д. Таким образом, как в замкнутом контуре, так и в антенне вместо однократного нарастания и спадания токов получались биения, графически изображённые на рис. 3.

Чтобы устранить двухволнистость в передатчике со сложной схемой, а также предотвратить вредные потери, вызванные обратной передачей энергии из антенны в замкнутый контур, Вин предложил новую систему искрового разрядника с подразделённым воздушным промежутком, в котором деионизация наступала тотчас после окон-

чания первого ряда затухающих колебаний контура. Благодаря этому разрядник уже не пробивался вновь и энергия из антенны не могла вернуться, хотя бы частично, обратно в замкнутый колебательный контур. Изменение

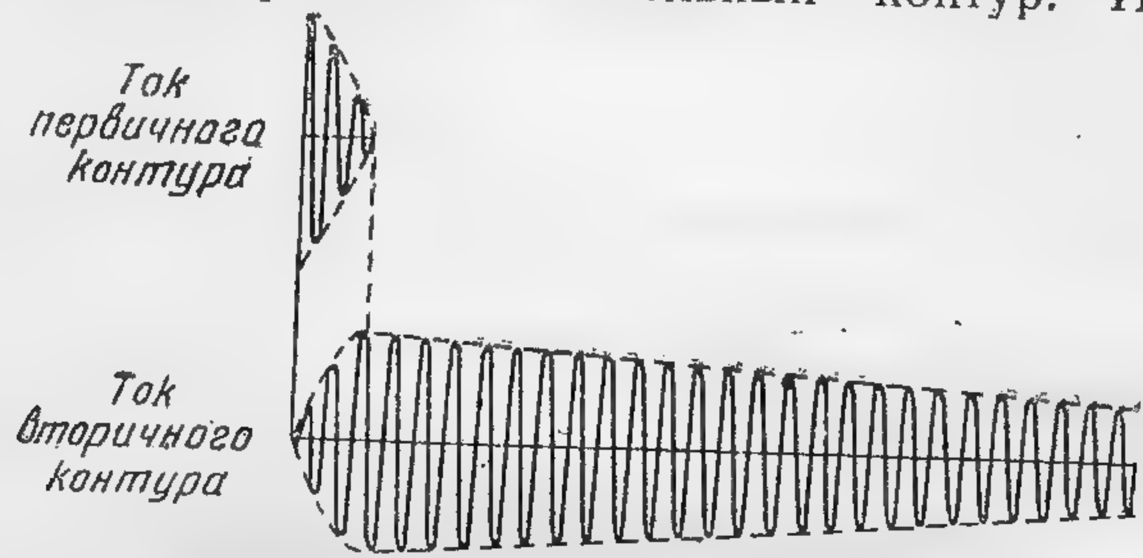


Рис. 4. Диаграммы токов в контурах передатчика с ударным возбуждением.

амплитуд колебаний в контуре и антенне передатчика Вина показано на рис. 4.

Система Вина получила название метода ударного возбуждения колебаний. Особенно хорошие результаты она

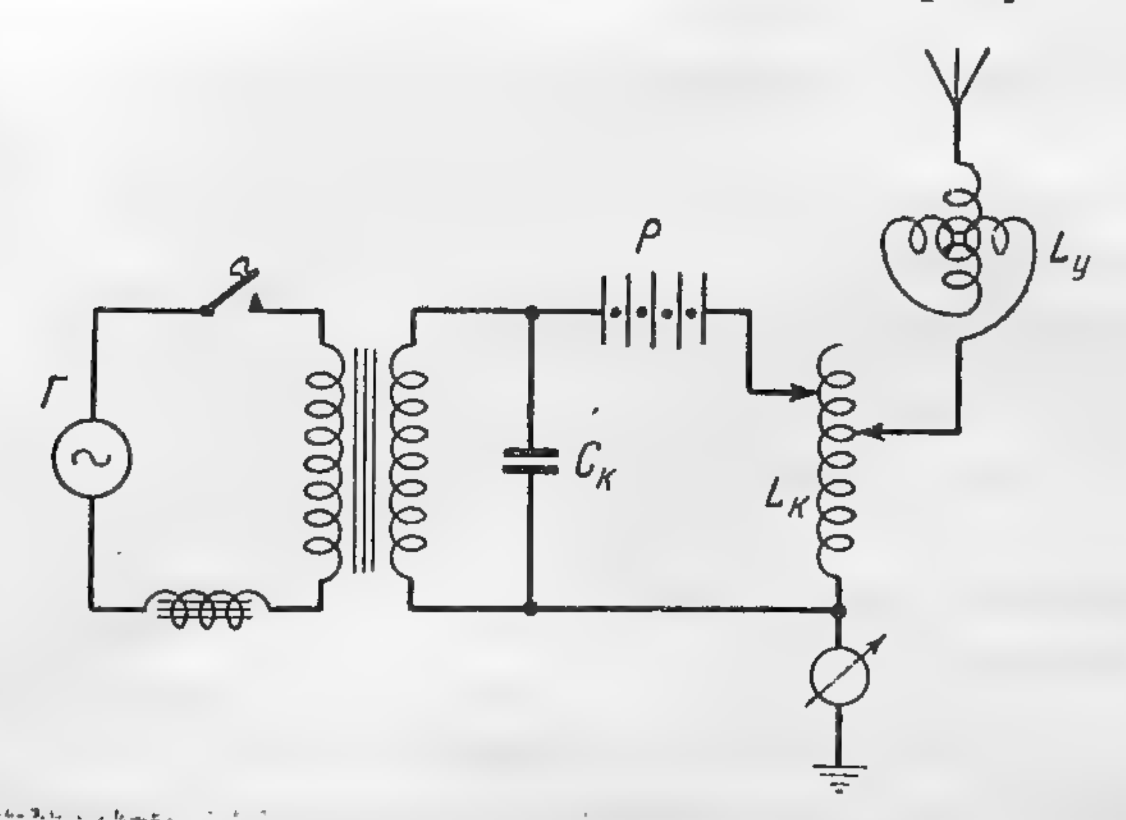


Рис. 5. Схема передатчика Вина.

давала при питании первичного контура передатчика от генераторов тока повышенной частоты (200÷1000 *гц*) через повышающий трансформатор (рис. 5). В этом случае принимаемые сигналы после детектирования в приёмнике имели музыкальный тон, облегчавший приём в

условиях помех от атмосферных разрядов и других радиостанций.

Разрядник Вина (1906) представляет собой ряд последовательно включённых искровых промежутков с плоскими

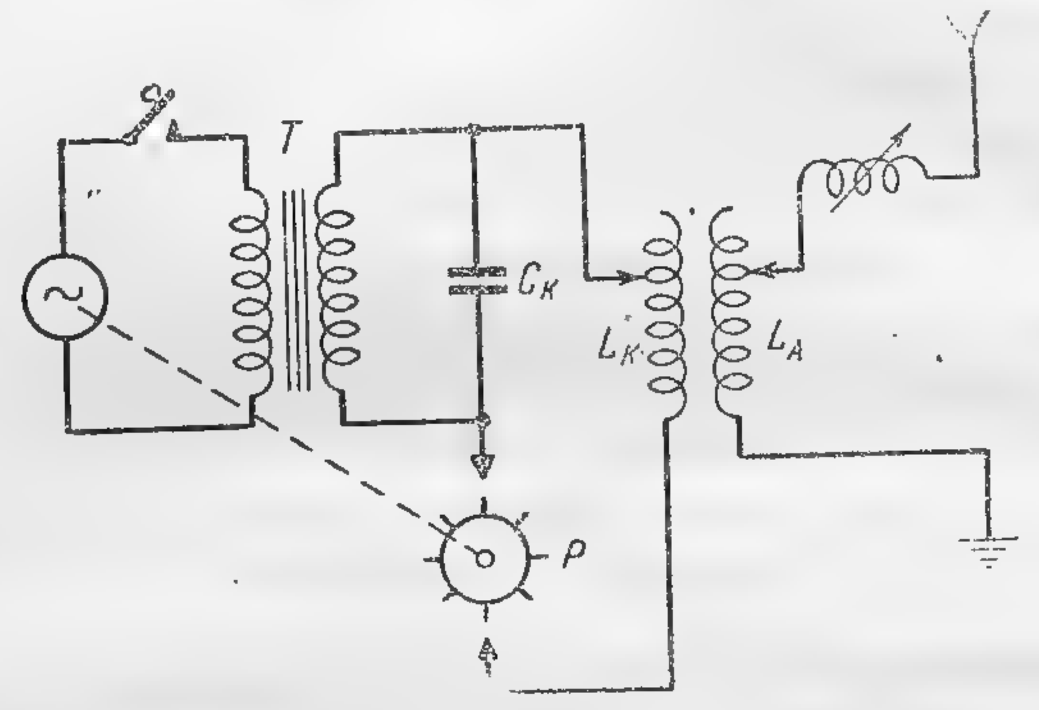


Рис. 6. Схема передатчика с синхронным разрядником Маркони.

серебряными электродами, разделёнными при помощи слюдяных колец толщиной 0,2 *мм.* Число искровых проме-

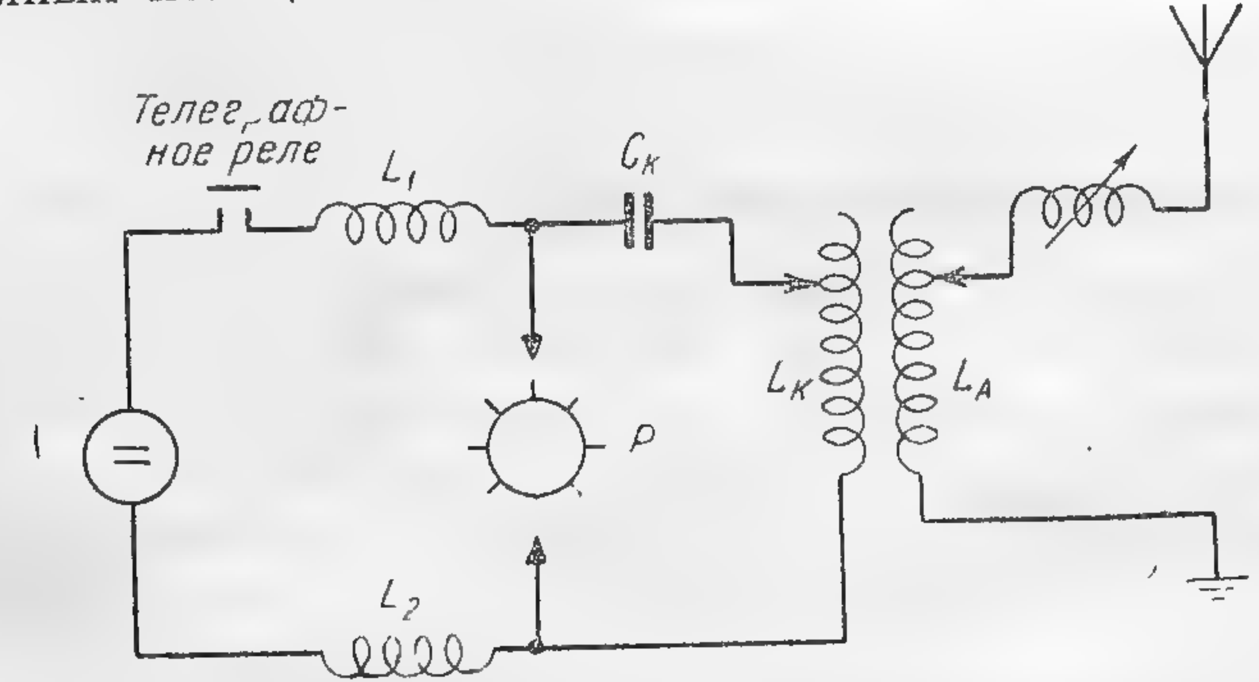


Рис. 7. Схема передатчика с асинхронным вращающимся разрядником.

жутков зависит от рабочего напряжения и обычно берётся по одному на каждую тысячу вольт. Для улучшения охлаждения разрядник Вина снабжён специальными радиаторами.

Ту же задачу, что и разрядник Вина, разрешает вра-

щающийся разрядник Маркони, выполненный в двух разновидностях: синхронного разрядника, установленного на одном валу с альтернатором, питающим через повышающий трансформатор замкнутый контур передатчика (рис. 6), и асинхронного разрядника, используемого при питании передатчика от источника постоянного тока высокого напряжения (рис. 7).

В случае применения синхронного разрядника сближение его электродов должно происходить одновременно с достижением максимума напряжения на вторичной обмотке трансформатора, питающего конденсатор замкнутого контура. Вращение разрядника способствует быстрой деионизации искрового промежутка и устраняет опасность обратного перехода энергии из антенны в замкнутый контур.

В случае применения асинхронного разрядника, источник постоянного тока высокого напряжения (обычно высоковольтные динамомашины, включённые по буферной схеме с батареей аккумуляторов) защищается дросселями L_1 и L_2 от высокочастотных токов, возбуждаемых в контуре $L_K C_K P$.

Настроенная цепь антенны связывается с замкнутым контуром индуктивно или через посредство автотрансформатора высокой частоты.

Передатчики Маркони с вращающимся разрядником также обеспечивают музыкальный тон сигналов в телефонах приёмника. Они нашли себе применение на мощных русских радиостанциях (Ходынка, Детское Село, Николаев).

Разрядники с быстрой деионизацией дали возможность значительно увеличить частоту разрядов замкнутого контура, что, в свою очередь, позволило повысить среднюю мощность, получаемую антенной из контура и излучаемую ею в пространство. В результате мощность искровых передатчиков постепенно возрастала от доли киловатта в передатчиках с простой схемой до нескольких киловатт в передатчиках Брауна и до десятков и сотен киловатт в передатчиках с ударным возбуждением.

На этом заканчивается развитие основных систем искрового метода возбуждения колебаний, который зародился в 1895 г. и не без успеха совершенствовался вплоть до 1916 года.

Значительные успехи, достигнутые искровой телеграфией без проводов, не могли тем не менее скрыть серьёзного

кризиса, который начала переживать система, положившая начало современной радиотехнике.

По мере роста числа работающих радиостанций и повышения их мощности необходимость получения избирательной радиосвязи становилась всё более очевидной. Взаимные помехи, хотя и пониженные после внедрения метода ударного возбуждения, всё же оказались слишком сильными. Кроме того, для получения значительных средних мощностей в передающих антеннах при затухающих колебаниях требовалось в течение первых периодов колебаний иметь высокие напряжения, что очень затрудняло изоляцию антенн. Нередко вследствие истечения антенны мощных станций даже светились в темноте, что приводило к добавочным потерям на коронирование.

Наконец, затухающие колебания ограничивали возможности радиосвязи передачей только телеграфных сигналов. Непосредственная передача речи оказывалась невозможной.

Все эти соображения настоятельно заставляли искать системы, обеспечивающие передачу при помощи незатухающих колебаний. Это привело к разработке дуговых и машинных радиостанций.

ДУГОВЫЕ ПЕРЕДАТЧИКИ

Дуговые преобразователи постоянного тока в переменный с металлическими электродами дугового промежутка впервые (1892—1899 гг.) были описаны Томсоном, Тесла и Фессенденом. Однако, весьма сомнительно, чтобы им удалось получить устойчивое генерирование незатухающих колебаний, частота которых была бы пригодна для беспроводной связи. Бесспорно первые успехи в этой области были получены Дудделем, который, воспользовавшись угольными электродами, смог получить колебания, имевшие частоту порядка 100 000 *гц*. Схема дугового генератора Дудделя показана рис. 8, где $Г$ — источник постоянного тока, дающий напряжение 500÷600 *в*, L_1 и L_2 — дроссели, защищающие этот источник от токов высокой частоты, D — дуговой промежуток и $L_K C_K$ — колебательный контур генератора.

Вольтамперная характеристика дугового разряда

$$U = a + \frac{b}{I}$$

показывает, что с возрастанием в дуге тока I, напряжение на дуговом промежутке U уменьшается. Такая характеристика называется падающей; она характерна для цепей с «отрицательным сопротивлением». Как известно, включение отрицательного сопротивления в колебательную цепь равнозначно компенсации части или всех потерь этой цепи. Если потери самого контура или внесённые связанной с ним антенной будут полностью компенсированы, то колебания, возникшие от любого толчка тока, будут нарастать до тех пор, пока не будет достигнуто состояние динамиче-

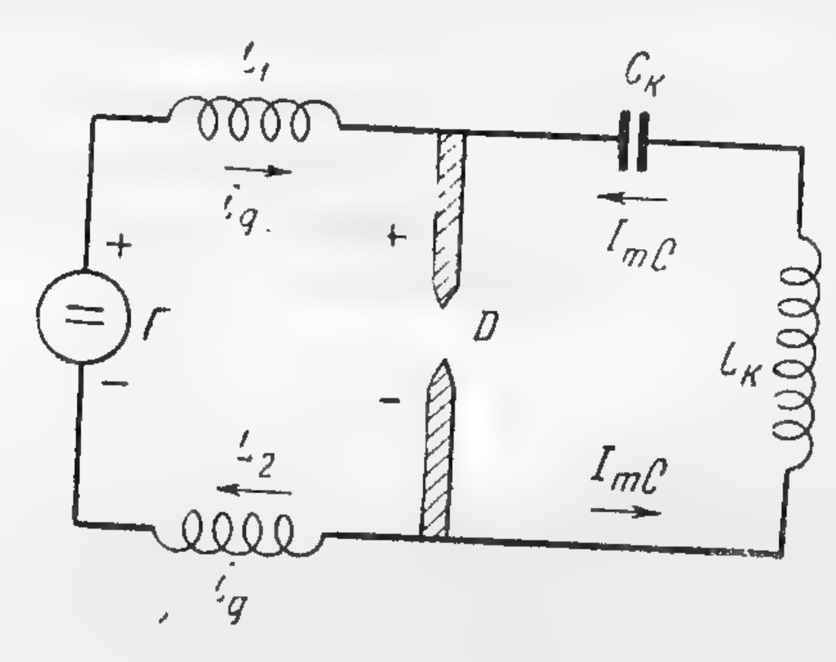


Рис. 8. Схема дугового генератора Дудделя.

ского равновесия. Если дуга по какой-либо причине погаснет ($I=0$), то напряжение на дуговом промежутке U не возрастает до бесконечности, как это следует из приведённой формулы, а достигает конечного значения $U_з$ — напряжения зажигания дуги. Напряжение зажигания всегда выше напряжения погасания дуги и зависит от деионизации дугового промежутка. Чем быстрее происходит деонизация, тем чаще будет повторяться процесс погасания и зажигания дуги и тем выше может быть достигнута частота колебаний, поддерживаемых дуговым преобразователем.

Практическое применение в радиосвязи получили дуговые генераторы, работающие в режиме «второго рода», при котором амплитуда колебательного тока больше величины постоянного тока, даваемого источником питания. Если при этом обеспечена односторонняя проводимость дугового промежутка, то после каждого импульса тока в дуге происходит погасание дуги и возобновление всего

процесса, начиная с нового зажигания. Этот процесс графически изображён на рис. 9. До момента достижения на дуговом промежутке напряжения зажигания $U_з$ ток (верхний график) равен нулю. После этого начинается зажигание дуги и через неё проходит суммарный ток $i_g + i_C$. Составляющая i_g обеспечивается источником постоянного тока, а составляющая i_C —нарастает синусоидально до значения I_{mC}. Полупериод проводимости длится время T_1. Затем ток через дугу падает до нуля и сохраняет это значение в течение времени T_2, пока напряжение на дуговом промежутке снова не возрастёт до положительного значения $U_з$. Период этого процесса $T = T_1 + T_2$. Отсечка тока в дуге неизбежно приводит к появлению наряду с основным колебанием, имеющим частоту $f = \frac{1}{T}$, и высших гармонических.

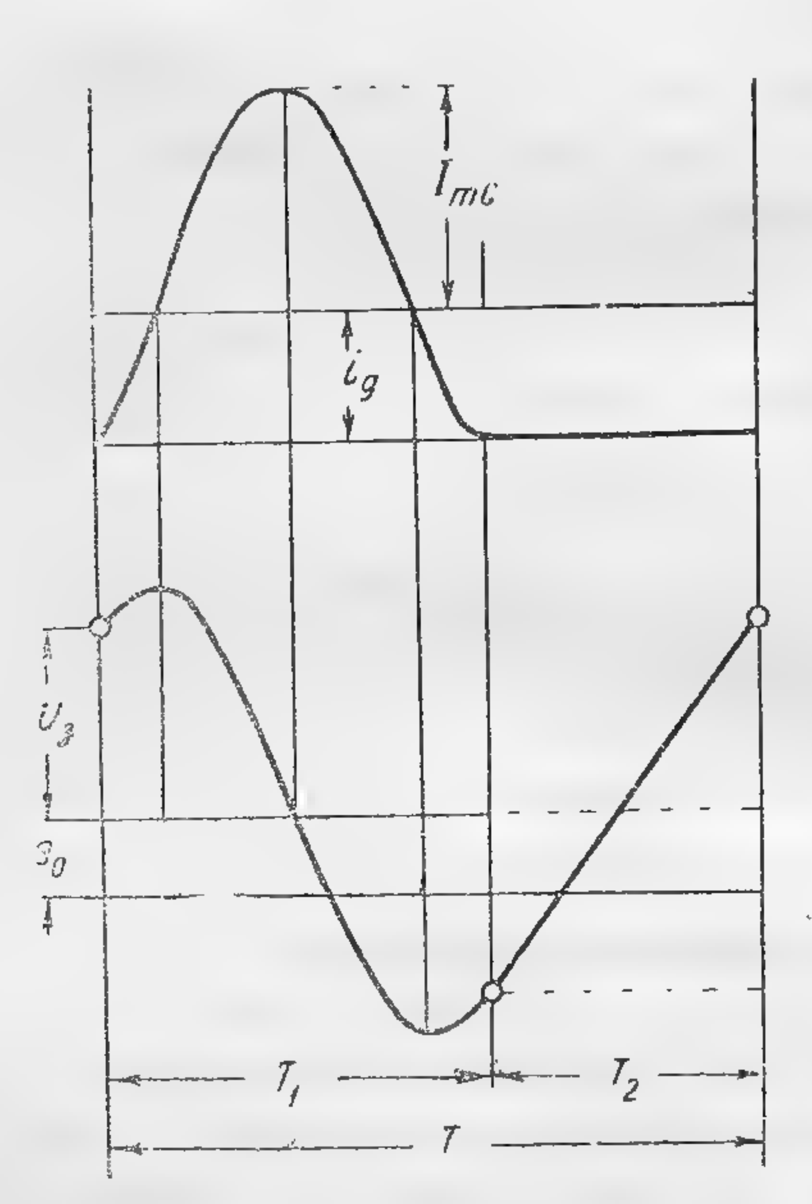


Рис. 9. График токов и напряжений в дуговом генераторе.

Для повышения мощности, даваемой дуговым генератором, необходимо, чтобы амплитуда напряжения на дуговом промежутке, а следовательно, и на колебательном контуре достигала наибольшего возможного значения.

Паульсен впервые ввёл в схему Дудделя ряд усовершенствований, которые позволили практически применить дуговой генератор в качестве источника незатухающих колебаний для целей радиосвязи. Генератор Паульсена давал достаточно (для того времени) стабильные колебания, частота которых была настолько высока, что их можно было применить для целей радиотелеграфии и радиотелефонии. К тому же генераторы Паульсена позволили достигнуть мощностей до многих сотен киловатт в антенне.

Усовершенствования Паульсена заключались в следую-

щем: а) дуговой промежуток помещался в атмосферу водорода или богатых водородом паров (спирта, керосина и т. д.), что повышало скорость деионизации промежутка, благодаря более высокому коэфициенту диффузии, чем у воздуха, б) применялась несимметричная система электродов дуги в виде полого охлаждаемого водой медного анода и угольного катода, вращаемого специальным моторчиком; подобная система обеспечивала одностороннюю проводимость дугового промежутка, равномерность обгорания угля и возникновение дуги всегда на новом, холодном

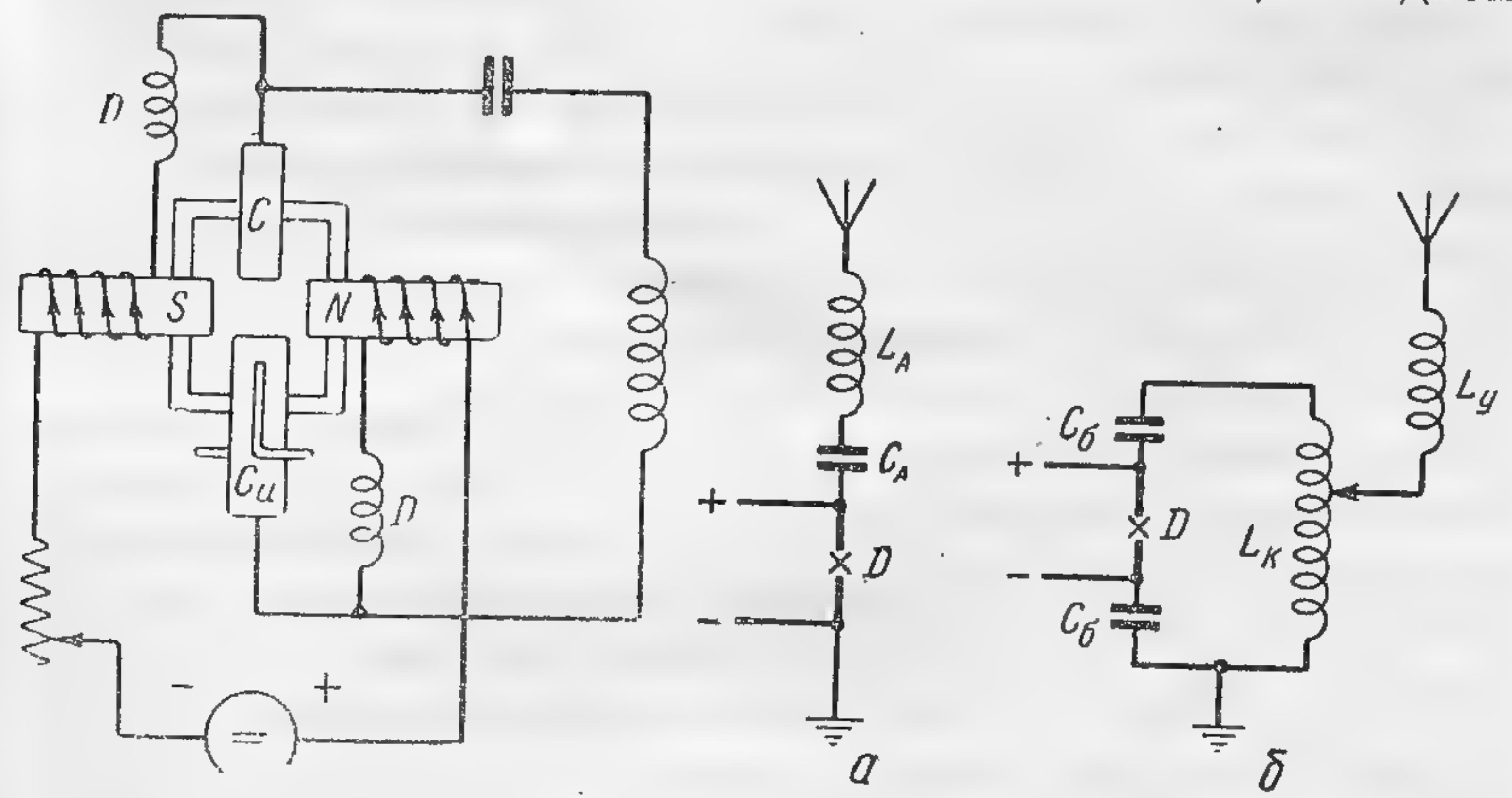


Рис. 10. Схема генератора Паульсена.

Рис. 11. Схемы дуговых передатчиков.

месте, что повышало устойчивость работы, в) дуговой промежуток помещался в поперечное поле, создаваемое мощным электромагнитом, через обмотки которого проходил постоянный ток питания дуги; магнитное поле сдувало ионы дугового разряда, удлиняло дугу и приводило к повышению напряжения на дуговом промежутке, т. е. позволяло получить большую мощность.

Схема генератора Паульсена изображена на рис. 10.

Подобно искровым передатчикам, дуговые радиостанции применялись с простой схемой (рис. 11*а*) и со сложной схемой (рис. 11*б*). Однако, в отличие от искровых передатчиков, в обоих случаях антенна дуговой радиостанции излучала незатухающие колебания.

Частота колебаний в цепи антенны при простой схеме определяется параметрами антенны и данными элементов

её настройки. Эта схема требует антенн с большой ёмкостью и малым сопротивлением и обеспечивает кпд до 50%.

При надлежащем выборе связи антенны с промежуточным колебательным контуром в дуговом передатчике, работающем по сложной схеме, удаётся значительно ослабить излучение высших гармонических и добиться кпд выше 60%.

Кроме гармоник, дуговые генераторы дают излучение паразитных колебаний вблизи от рабочей волны, проявляющихся при приёме в форме шуршащего шума. Природа этого явления осталась недостаточно выясненной.

Так как при остывшем угольном катоде дуговой генератор не может начать работать без максимального сближения электродов, то для осуществления телеграфной манипуляции недопустимо разрывать цепь питания дуги, как это делалось в искровых станциях. Обычно манипуляция производится расстройкой, для чего при нажатии ключа специальное реле замыкает часть витков катушек индуктивности антенны или контура. Тогда дуга работает непрерывно, но при нажатии излучаются колебания, отличные по частоте от колебаний при отпущенном ключе. Такой же результат может быть получен, если в качестве части индуктивности настройки антенны или контура применить высокочастотный дроссель с железным сердечником, снабжённый дополнительной обмоткой для подмагничивания постоянным током (рис. 12). При нажатии ключа благодаря подмагничиванию индуктивность дросселя падает и излучаемая волна становится несколько короче. Таким образом, наряду с «позитивной» волной основных сигналов в паузах между ними излучается «негативная» волна. Если разница частот позитива и негатива мала, то при гетеродинном приёме манипуляция дугового генератора воспринимается как изменение тона во время сигнала и во время пауз, что затрудняет приём. Если же эта разница частот велика, то для окружающих приёмников создаётся добавочная помеха.

Исключительная простота и дешевизна сооружения и эксплоатации дуговых радиостанций привели к их очень значительному распространению во всех частях света. В частности, в СССР наиболее крупными были дуговые передатчики в Москве на Шаболовке, мощностью 100 *квт* (В. М. Лебедев), в Детском Селе (А. А. Чернышёв) и др.

Наиболее крупные дуговые радиостанции в мире были построены в Малабаре (Ява) мощностью 1500÷1800 *квт* в антенне, в Бордо и в Шанхае — по 500 *квт*. Чтобы представить себе размеры 500-киловаттного генератора, укажем, что вес одной его магнитной системы достигает 75 *т*!

Наряду с этими гигантскими установками были разработаны дуговые генераторы мощностью в десятки и единицы киловатт и даже мощностью ниже 100 *вт*.

Малые дуговые генераторы нашли применение в первых опытах передачи радиотелефонных сообщений. Для этой цели устанавливали слабую связь антенны с промежуточным контуром, а в цепь антенны включали микрофонную систему, сопротивление которой изменялось в такт с падающими на неё звуковыми колебаниями. Происходило изменение тока в антенне, т. е. осуществлялась модуляция колебаний.

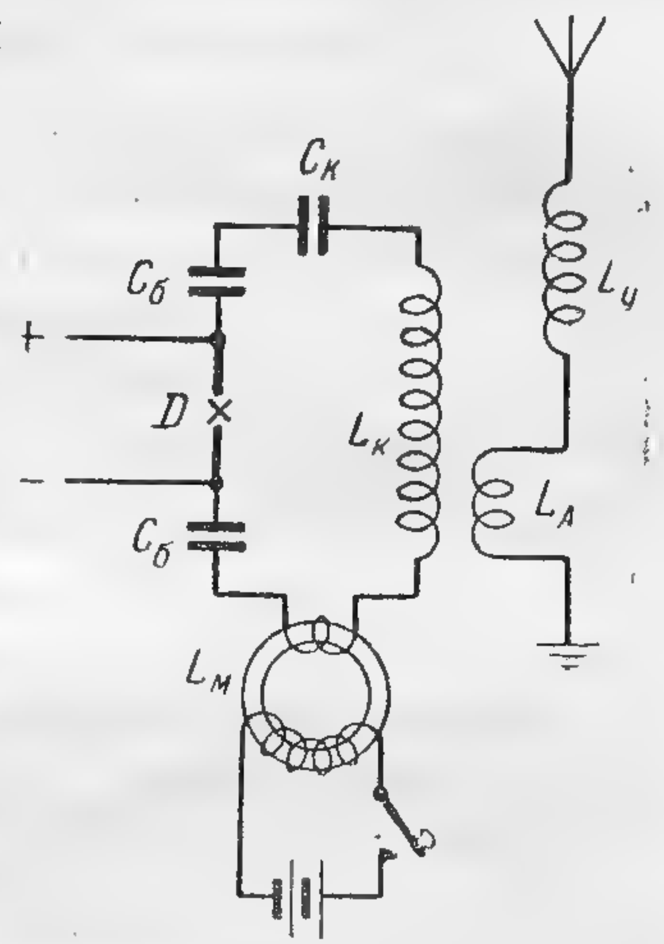


Рис. 12. Схема манипуляции дуговых передатчиков.

Выполнение микрофонов для включения непосредственно в антенну даже относительно маломощного передатчика весьма затруднительно. Применялась группа из нескольких (до 6) последовательно включённых угольных микрофонов. Имелись конструкции микрофонов, в которых непрерывно сменялся угольный порошок (Марци) и, наконец, жидкостные микрофоны (Мажорана, Чемберс), в которых под действием колеблющейся мембраны изменялось сопротивление тонкого слоя жидкости. Жидкостные микрофоны пропускали через себя мощности до 250÷500 *вт*.

В качестве модулирующего устройства в дуговых радиотелефонных станциях можно также применить высокочастотные дроссели с подмагничиванием, если ключ в схеме рис. 12 заменить мощным микрофонным устройством.

Дуговые передатчики достаточно удовлетворительно работали в длинноволновом диапазоне. При более коротких

волнах устойчивость их работы, постоянство частоты и отдаваемая мощность были недостаточны.

Для дальней радиосвязи дуговые передатчики имели столь значительные преимущества по сравнению с искровыми радиостанциями, что начиная с 1910—1912 гг. число их неуклонно возрастало, пока на радиомагистралях не начали применяться короткие волны.

ПЕРЕДАТЧИКИ С МАШИНАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Стремление получить токи высокой частоты непосредственно от специально сконструированного генератора переменного тока было впервые реализовано Тесла в 1889—1892 гг. в виде альтернаторов с частотой 5000 *гц* и 15 000 *гц*. Однако, эти опыты производились до изобретения радио и не могли быть впоследствии использованы из-за незначительной мощности и недостаточно высокой частоты полученных токов.

После длительных опытов Фессендена, изучавшего возможность применить машины высокой частоты для радиотелеграфии, Александерсен в 1908 г. создал первые инженерные конструкции альтернаторов индукторного типа, дававших частоту 100 000 *гц* и 200 000 *гц*. Дальнейшее развитие в основном получили различные разновидности машин индукторного типа (Арко, Бетено-Латур, Шмидт). Следует особо отметить чрезвычайно удачную систему машин высокой частоты этого класса нашего соотечественника В. П. Вологдина, посвятившего свыше 20 лет этой области техники и создавшего серию машин мощностью от 6 до 600 *квт*. Машины Вологдина в 50 и 150 *квт* длительное время эксплоатировались на Октябрьском радиоцентре в Москве.

Единственной имевшей некоторое практическое значение системой машин не индукторного типа, является система Гольдшмидта, использовавшего принцип Бушеро, установившего, что в любом альтернаторе токи и эдс в роторе могут быть представлены в виде нечётных членов ряда Фурье, а в статоре в виде чётных членов этого же ряда. В машине Гольдшмидта в цепь ротора включены контуры, настроенные на основную и утроенную частоты, а в цепь статора контур, настроенный на удвоенную частоту, и антенная цепь, настроенная на учетверённую частоту.

В наиболее мощной машине системы Гольдшмидта (150 *квт*) исходная частота $f=10\,000$ *гц*, а рабочая частота соответственно 40 000 *гц*. Кпд машины низок — около 40%. Однако, эта машина отличается тихоходностью (3100 *об/мин*) при обмотке, имеющей 384 полюса.

Значительно проще принцип действия машин индукторного типа, однако, для получения в них высоких частот генерируемого тока необходимо, чтобы в выражении для частоты

$$f=\frac{pn}{60}$$

множители p — число одноимённых полюсов и n — число оборотов ротора в минуту были достаточно велики.

Полюсный шаг машины определяется формулой

$$\tau=\frac{v}{2f}$$

(где v — окружная скорость), из которой следует, что даже для относительно низких частот (десятки тысяч герц) при огромных окружных скоростях до 150 *м/сек* полюсный шаг может иметь размеры, измеряемые единицами миллиметров.

Приведённые соотношения для величин f и τ показывают, в чём заключаются основные трудности конструирования высокочастотных машин: это трудности механического характера, связанные с большими напряжениями в материалах ротора, под действием центробежной силы и трудности электрической изоляции обмотки статора, для размещения которой имеется весьма ограниченное пространство. Кроме того, в машинах высокой частоты приходится решить ещё 2 трудные задачи: это отвод тепла из машины, поскольку потери в железе увеличиваются пропорционально квадрату частоты, а также снижение потерь на трение о воздух, неизбежно возникающих при больших окружных скоростях ротора.

Все эти обстоятельства заставили часть конструкторов (Арко, Вологдин, Шмидт) отказаться от получения токов рабочей частоты в самом альтернаторе и применить между ним и антенной цепью статические умножители частоты. В машинах же Александерсена и Бетено токи рабочей частоты получаются непосредственно в альтернаторе.

Наиболее крупные машины Александерсена, установленные на радиостанциях Нью-Брунсвик и Рокки-Пойнт,

имеют мощность 200 *квт*. Рабочая частота этого типа машины около 22 000 *гц*. Ротор делает 2170 *об/мин*. Кпд ниже 50%. Статор машины охлаждается водой. Схема включения машины очень проста — машина подключается через повышающий трансформатор непосредственно в цепь настройки антенны.

Машины высокой частоты системы Арко дают частоты от 6000 до 10 000 *гц* и имеют мощности, достигающие 600 *квт*. Между альтернатором Арко и антенной цепью включаются трансформаторы умножения частоты с под-

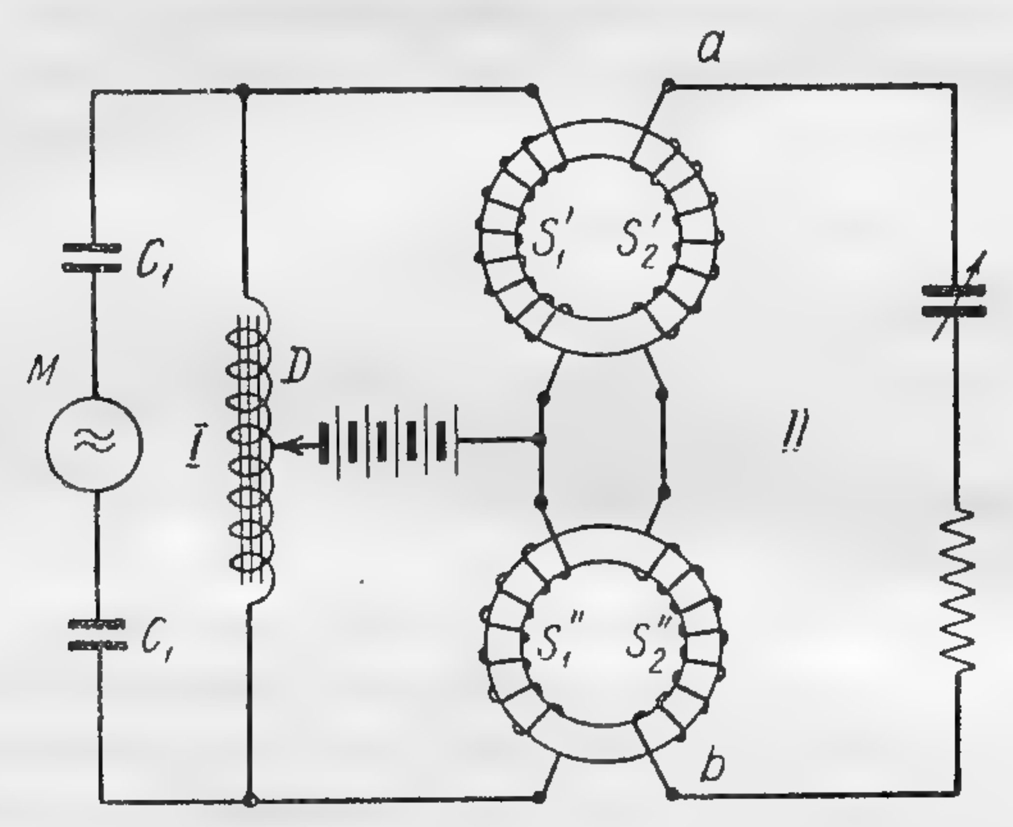


Рис. 13. Схема умножения частоты.

магничиванием или без подмагничивания их сердечников постоянным током. Эти трансформаторы дают повышение частоты в 2, 3 или 4 раза при высоком кпд (около 92÷÷94%).

Схема включения умножителей частоты изображена на рис. 13. Альтернатор M, защищённый от постоянного тока конденсаторами C_1, нагружен на первичные обмотки S'_1 и S''_1 двух высокочастотных трансформаторов с железными сердечниками. Индуктивность этих обмоток и ёмкость конденсаторов C_1 выбраны так, что цепь альтернатора оказывается настроенной в резонанс на его основную частоту f. Вторичные обмотки S'_2 и S''_2 включены навстречу друг другу, поэтому напряжение основной частоты между точками a и b равно нулю. Если теперь через обмотки S'_1 и S''_1 или через специальные дополнитель-

ные обмотки пропустить постоянный ток достаточной величины (источник которого защищён дросселем D), то во вторичных обмотках S'_2 и S''_2 появятся напряжения несинусоидальной формы, богатые содержанием второй гармонической $2f$, каковая и выделится в контуре II; при этом полезно этот контур заранее настроить на удвоен-

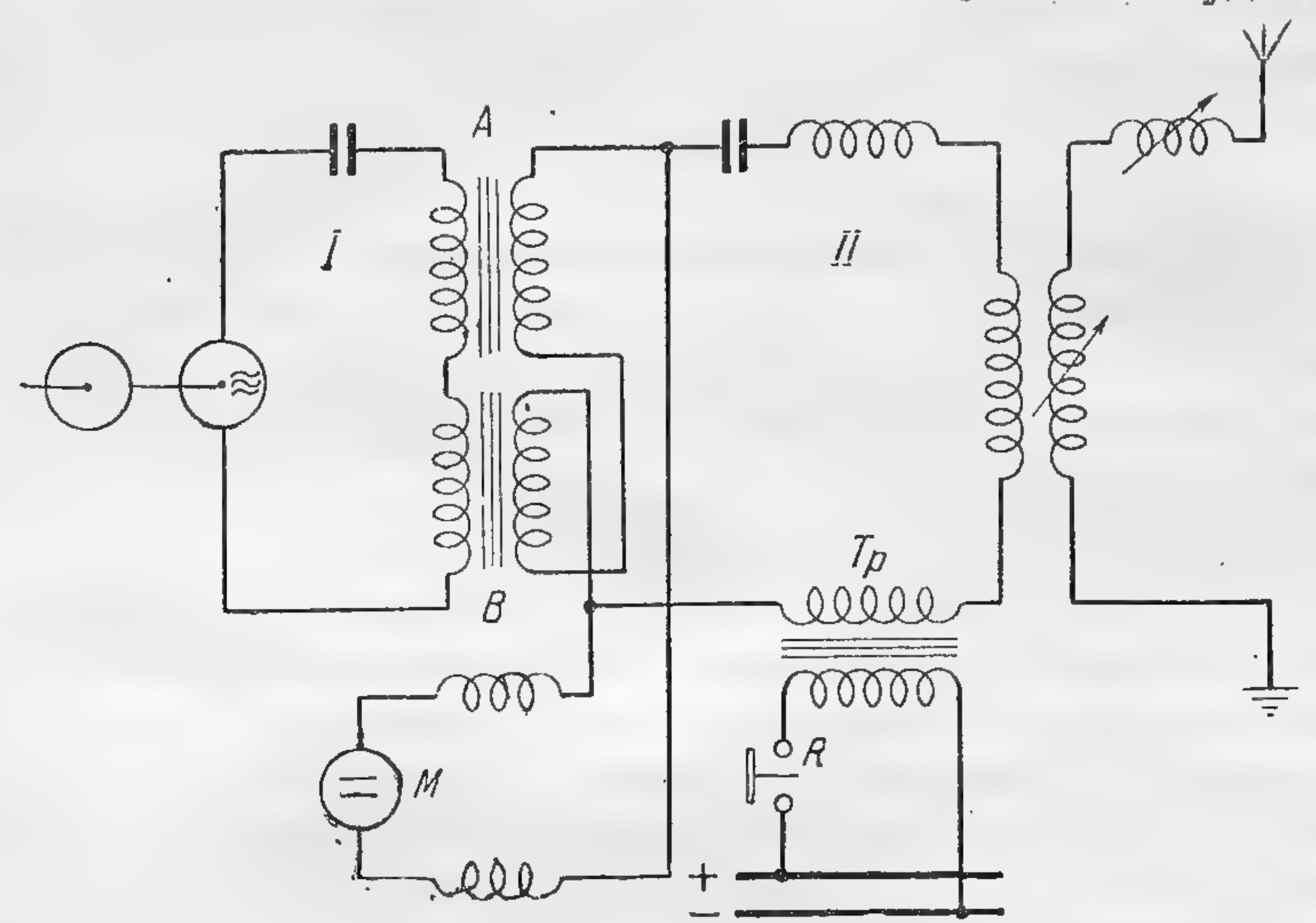


Рис. 14. Схема манипуляции передатчика с машиной высокой частоты.

ную частоту. Если подобную методику повторить второй раз, то получится учетверение частоты и т. д.

Наиболее мощные альтернаторы Арко с умножителями частоты установлены на радиостанциях Науэн, Малабар и Монте-Гранде (Буэнос-Айрес).

Телеграфная манипуляция машинных радиопередатчиков обычно производится при помощи расстройки или изменением потерь в колебательных цепях путём изменения величины постоянного тока подмагничивания специальных манипуляционных дросселей или трансформаторов — умножителей частоты. На рис. 14 показана схема машинного передатчика с одним удвоителем частоты; в контур передатчика включён манипуляционный дроссель Tp, индуктивность которого изменяется при замыкании цепи питания подмагничивающей обмотки. Если контур II настроен на частоту

$2f$, когда реле R разомкнуто, то при его замыкании произойдёт расстройка этого контура, выделение частоты $2f$ резко уменьшится и ток в антенне упадёт до незначительной величины; станция не будет принята отдалённым приёмником.

Радиотелефонная модуляция в машинных передатчиках осуществляется обычно путём включения в цепь антенны высокочастотного дросселя, цепь подмагничивания которого управляется мощным ламповым усилителем, возбуждаемым от микрофона. В анодную цепь мощного усилителя включается обмотка подмагничивания так, что анодный ток выходного каскада является током подмагничивания сердечника модуляционного дросселя. Практическое значение машинных радиотелефонных передатчиков незначительно.

Чрезвычайно важной проблемой в области машинных передатчиков является поддержание необходимого постоянства частоты электромагнитных колебаний, генерируемых радиостанциями этого класса. Частота колебаний передатчика с машиной высокой частоты не зависит от элементов настройки контуров и антенны, а определяется только частотой эдс, возбуждаемой в самом альтернаторе. Поэтому необходимое для радиосвязи постоянство частоты является однозначной функцией постоянства числа оборотов ротора машины, зависящего от изменений напряжения и частоты питания мотора, вращающего ротор, и от изменения нагрузки альтернатора при нажатии и отпускании ключа.

Независимость числа оборотов ротора от колебаний напряжения и частоты в сети питания достигается сравнительно несложными средствами. Значительно труднее добиться независимости от больших и быстрых изменений нагрузки альтернатора при манипуляции. Между тем, чем короче рабочая волна, тем выше должна быть стабильность частоты при гетеродинном приёме незатухающих колебаний. Современные регуляторы числа оборотов обеспечивают постоянство в пределах от $0{,}02 \div 0{,}1\,\%$. В системах Бетено и Вологдина применён центробежный регулятор Тюри, воздействующий на реле, управляющие реостатами в цепи возбуждения мотора постоянного тока (Бетено) и в цепи ротора асинхронного мотора переменного тока (Вологдин).

В системе Александерсена для регулирования используется контур с малыми потерями, возбуждаемый от машины высокой частоты и настроенный на частоту немного более высокую, чем частота альтернатора. Этот контур связан с выпрямителем, питающим обмотку реле, воздействующего на напряжение статора двухфазного мотора переменного тока, вращающего альтернатор.

Из изложенного ясно, что оборудование и эксплоатация радиостанций незатухающих колебаний с машинами высокой частоты являются несравненно более сложными, чем оборудование и эксплоатация дуговых передатчиков. Однако, с точки зрения технических показателей эта система имеет столь большие преимущества, что для большинства ответственных длинноволновых связей дуговые передатчики всегда уступали своё место машинным радиостанциям по следующим причинам: а) машинные передатчики манипулируются без негативной волны и поэтому занимают меньший диапазон частот, б) машинные передатчики имеют значительно более высокий коэфициент полезного действия, в) машинные передатчики легче освобождаются от паразитных излучений, г) машинные передатчики обеспечивают более высокое постоянство частоты.

К недостаткам, присущим обеим системам передатчиков с машиной высокой частоты и с дуговыми генераторами, относятся трудность их применения на средних волнах и невозможность применения на коротких и ультракоротких волнах, недостаточная даже для средних волн стабильность частоты и негибкость в отношении радиотелефонной модуляции.

Между тем с 1920—1924 гг. началось развитие радиовещания и освоение коротковолнового, а затем и укв диапазонов. Поэтому указанные недостатки привели обе системы к столь глубокому кризису, что вступившая сначала неуверенными шагами в радиотехнику новая система ламповых радиопередающих станций всё более и более овладевала основными позициями и вскоре полностью вытеснила дуговые генераторы, а мощные длинноволновые машинные радиостанции перевела на положение редко используемого резерва.

ЛАМПОВЫЕ ПЕРЕДАТЧИКИ

Появление трёхэлектродной электронной лампы с её изумительным релейным действием вызвало в целом ряде стран одновременное и, повидимому, независимое изобретение лампового генератора незатухающих колебаний. Однако, приоритет этого важнейшего изобретения должен быть признан за Мейсснером, запатентовавшим в 1913 г. свою классическую схему лампового генератора (рис. 15). В этой схеме колебательный контур связан индуктивно с

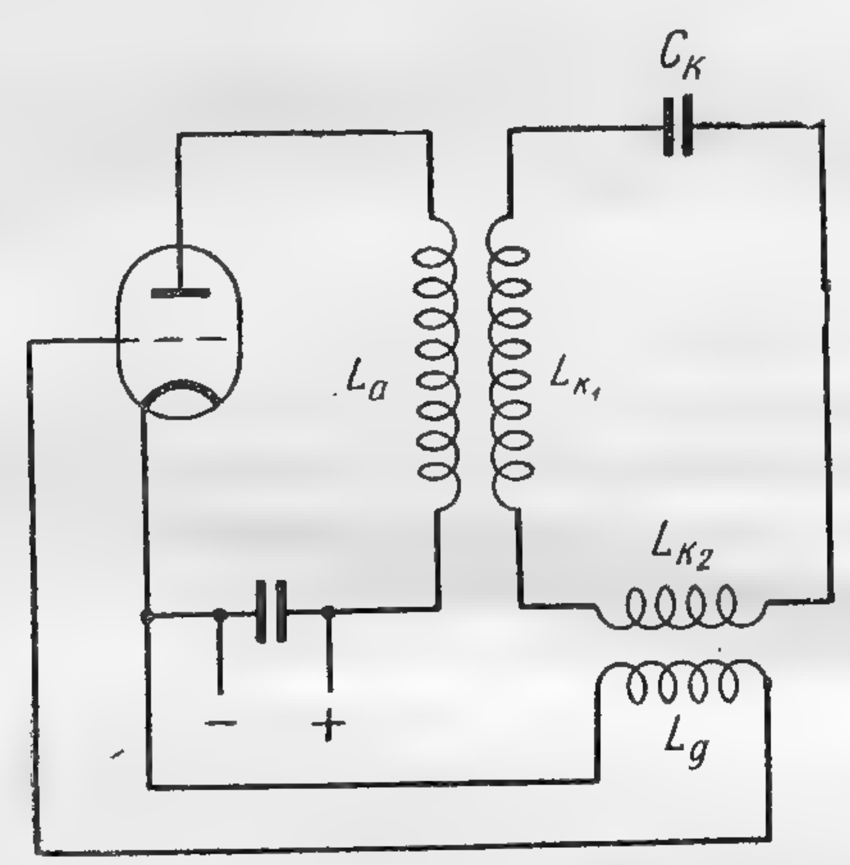


Рис. 15. Схема лампового генератора Мейсснера.

цепями анода и сетки электронной лампы. При правильном выборе направлений катушек связи, обеспечивающем сдвиг на 180 ° фазы наведённых напряжений на сетке и аноде, и при достаточно сильной связи цепи сетки с контуром, в последнем возникнут и будут поддерживаться незатухающие колебания. Частота колебаний контура f в первом приближении определяется ёмкостью и индуктивностью элементов контура.

Для самовозбуждения лампового генератора нет необходимости применять обязательно индуктивную связь сетки и анода с контуром. Любая схема, обеспечивающая достаточный коэфициент связи

$$K = -\frac{U_{mg}}{U_{ma}},$$

где U_{mg} и U_{ma} — соответственно амплитуды переменного напряжения частоты f на сетке и аноде триода,— будет генерировать незатухающие колебания. Знак минус перед дробью свидетельствует о том, что U_{mg} и U_{ma} находятся в противофазе.

Наибольшее применение нашла схема Хартлея (рис. 16) или «трёхточечная схема», у которой катод соединён с контурной катушкой в точке K, находящейся между точками подключения анода A и сетки G. Такое включение при правильном выборе элементов связи KG

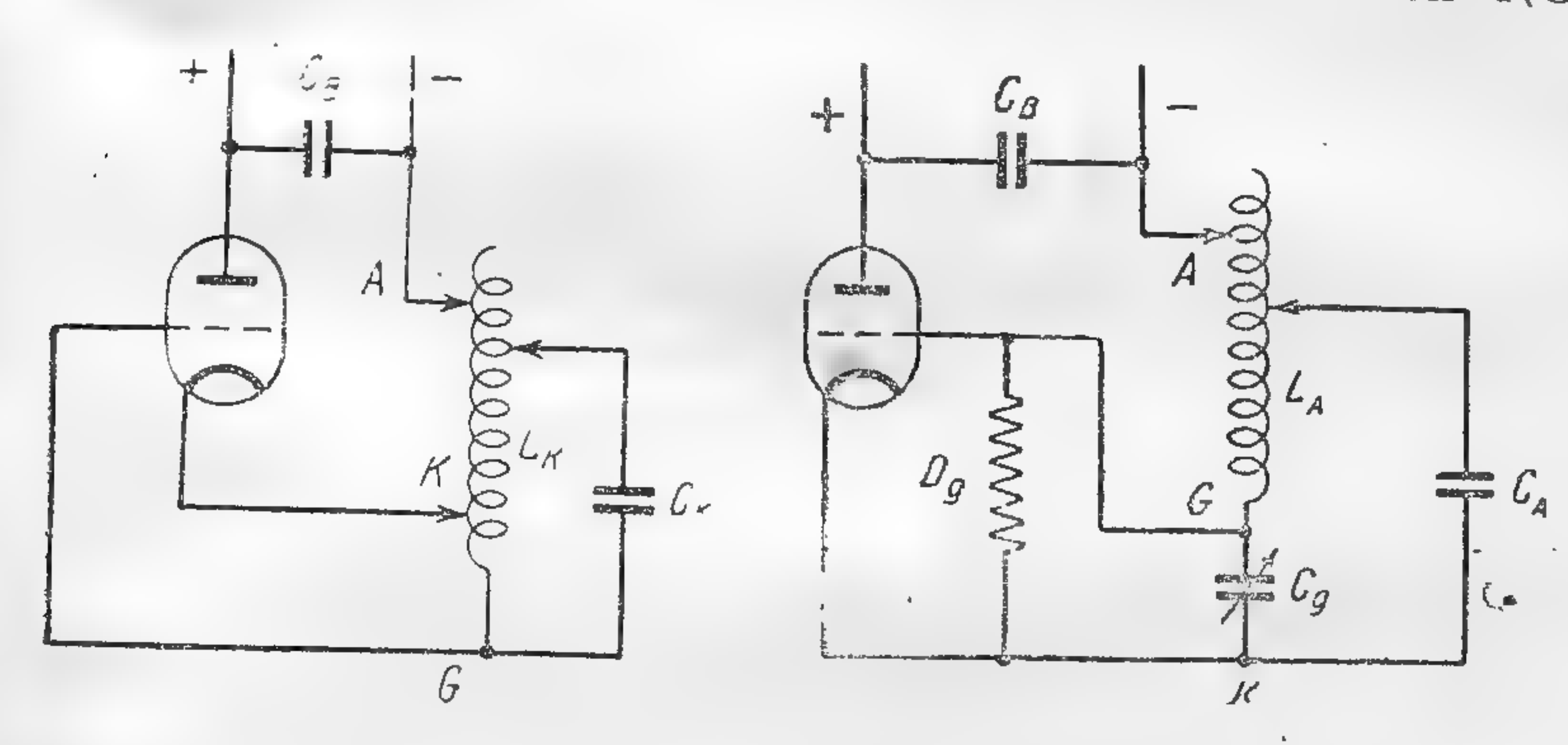


Рис. 16. Трёхточечная схема лампового генератора.

Рис. 17. Трёхточечная схема с ёмкостной связью сетки.

и KA обеспечивает возникновение и генерирование колебаний. Видоизменением этой схемы является схема с ёмкостной связью сетки (рис. 17). В этом случае из-за изменения знака реактивного сопротивления между сеткой и катодом точка присоединения катода будет лежать вне участка контура, включённого между сеткой и анодом.

Представляет практический интерес схема Колпитца (рис. 18), в которой напряжения на сетку и на анод берутся с ёмкостной ветви контура, выполненной в виде ёмкостного делителя напряжений.

Известное применение нашла схема, предложенная Кюном (рис. 19), в которой напряжение U_{mg} получается на колебательном контуре L_gC_g цепи сетки, благодаря связи этого контура с анодным контуром L_AC_A через ёмкость между анодом и сеткой лампы.

В первых ламповых радиостанциях часто колебательный контур анодной цепи разворачивался в антенную открытую схему (рис. 20). На рис. 20 пунктиром изображены эквивалентные ёмкость антенны C_A и её сопротивление R_A.

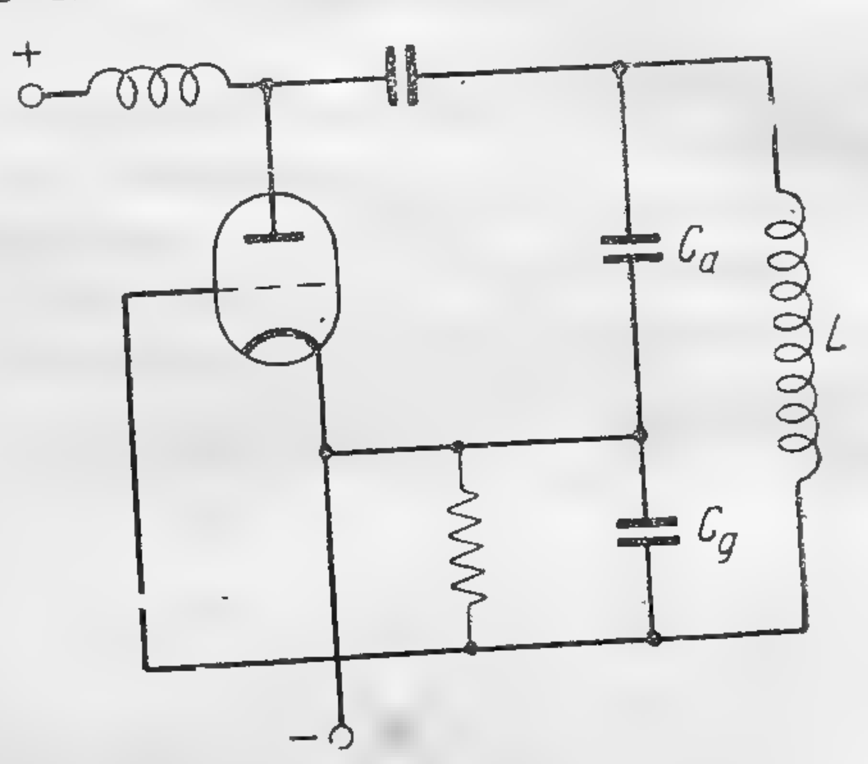


Рис. 18. Схема Колпитца.

Эта схема, называемая «простой», отличается излучением интенсивных высших гармонических, возникающих из-за

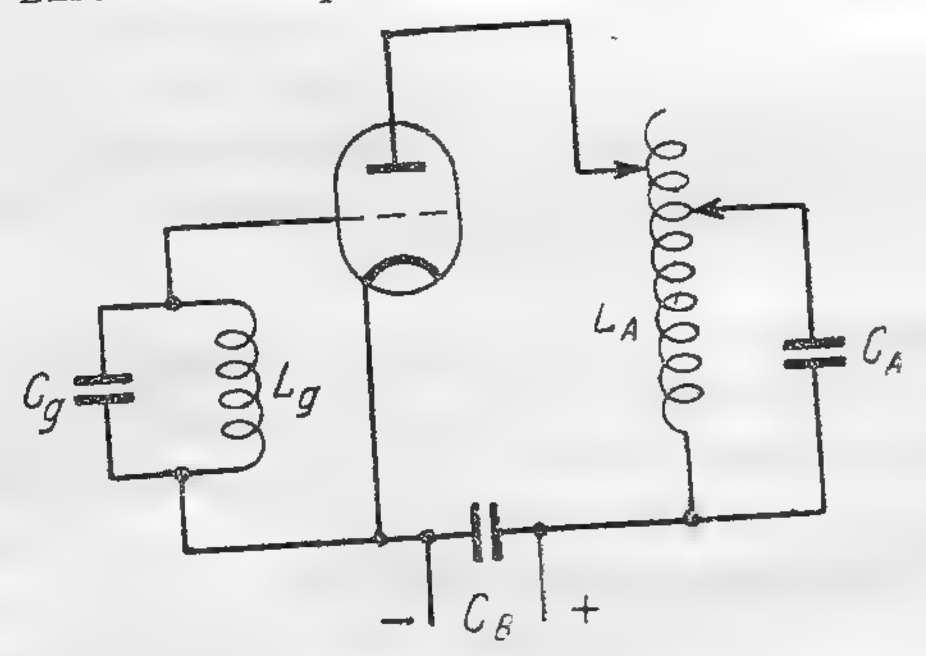


Рис. 19. Схема Кюна.

работы лампового генератора в течение части периода на нелинейных участках характеристики.

Вторым серьёзным недостатком простой схемы является зависимость частоты колебаний от параметров антенной цепи. Поэтому колебания антенны под действием ветра, изменения её ёмкости под влиянием инея и гололёда при-

водят к существенным изменениям частоты излучаемых колебаний. Лучшие результаты дала схема с промежуточным контуром — сложная схема (рис. 21), при которой антенная цепь с её элементами настройки $L_у$ связана

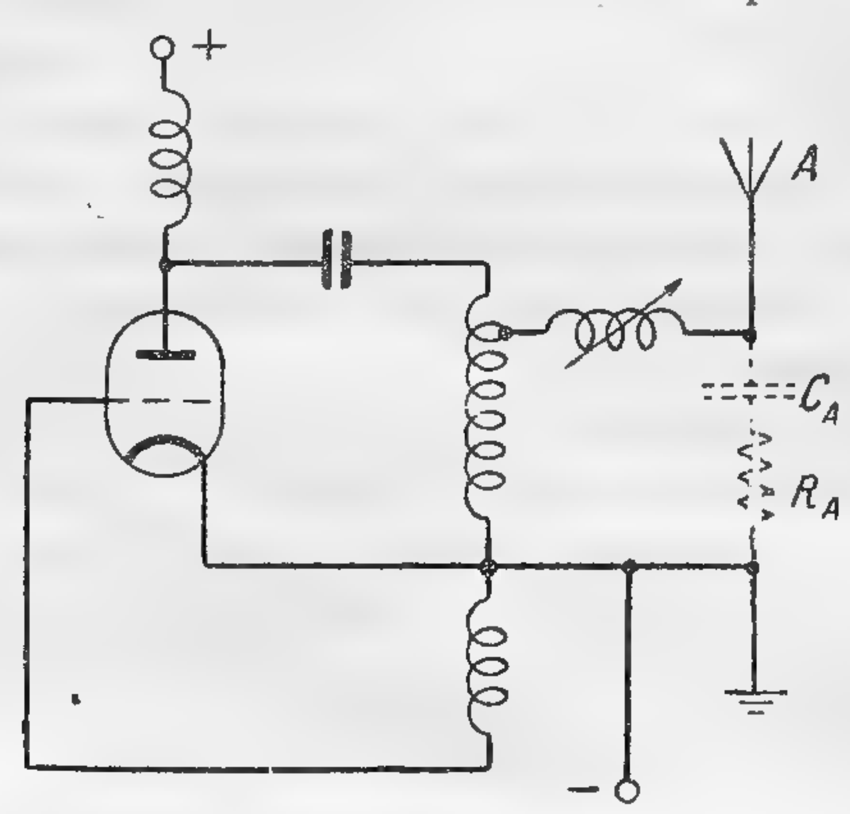


Рис. 20. Простая схема лампового передатчика.

индуктивно $(L_A - L_{св})$ или ёмкостно с анодным колебательным контуром лампового генератора. В этом случае при надлежащем выборе связи между контуром и антен-

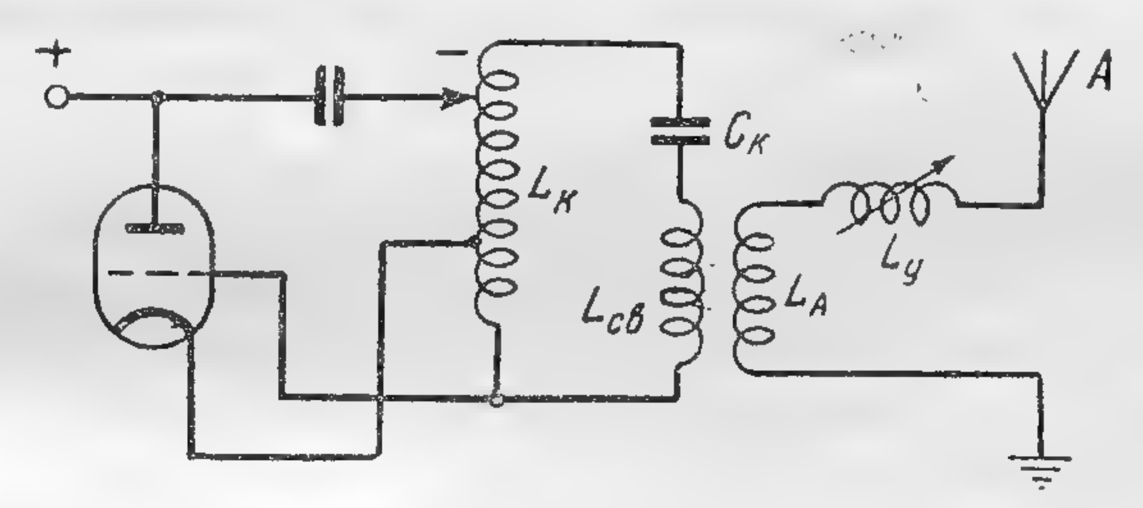


Рис. 21. Схема лампового передатчика с промежуточным контуром.

ной достигается ослабление высших гармонических и повышение стабильности частоты. Высшие гармонические подавляются особенно хорошо, если антенна имеет с контуром ёмкостную связь. Однако, если связь антенны с промежуточным контуром лампового генератора с самовозбуждением слишком велика, то работа становится неудов-

летворительной, благодаря появлению «затягивания», проявляющегося в скачкообразных изменениях частоты, соответствующих двум волнам связи, при изменении настройки антенны, а иногда и при телеграфной манипуляции. Хорошая и устойчивая работа получается только при слабой связи, когда промежуточный контур определяет частоту излучаемых колебаний. Однако, ослабление связи приводит к тому, что значительная часть колебательной энергии остаётся в промежуточном контуре, что снижает общий кпд передатчика.

Стремление повысить стабильность частоты ламповых радиостанций привело к появлению схем с независимым

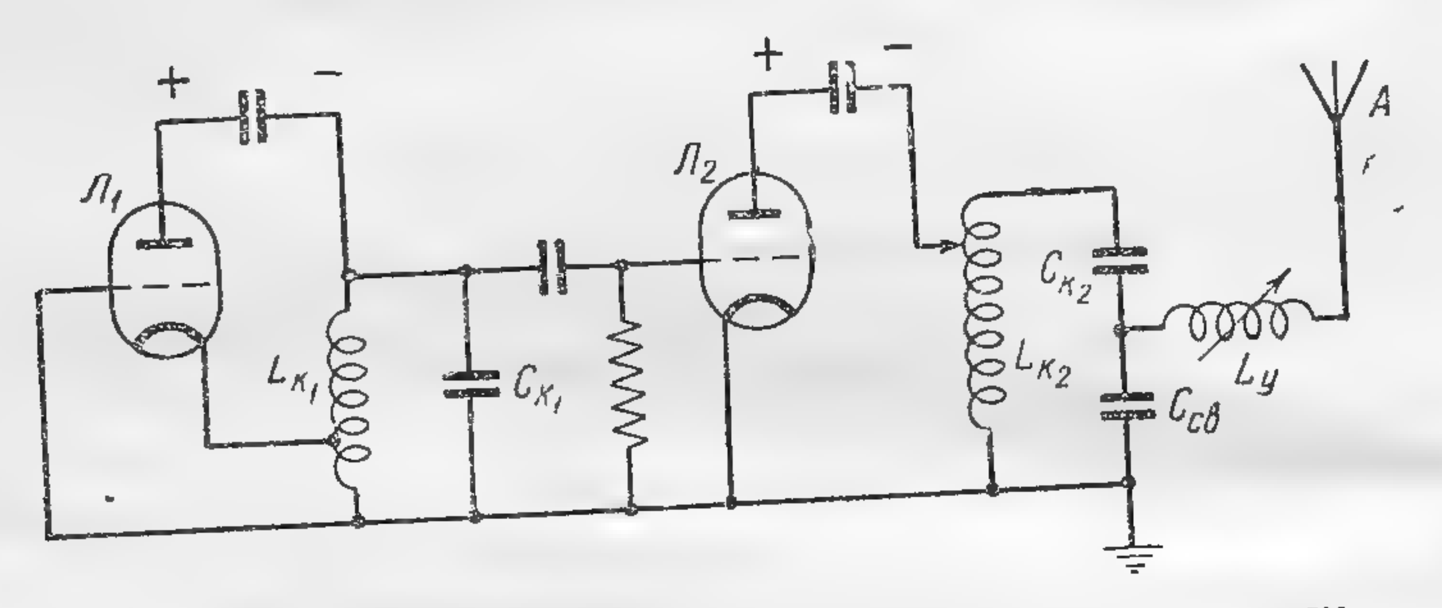


Рис. 22. Схема лампового генератора с независимым возбуждением.

возбуждением, у которых задача генерирования токов стабильной частоты возлагается на так называемый задающий генератор относительно небольшой мощности, работающий с самовозбуждением, а задача получения и передачи в антенну значительных колебательных мощностей осуществляется мощным усилителем высокой частоты, цепь сетки которого получает независимое возбуждение от задающего генератора. Схема генератора с независимым возбуждением показана на рис. 22. В этой схеме с контуром L_{K1} C_{K1} задающего генератора связана цепь сетки лампы $Л_2$ мощного каскада. В анодную цепь $Л_2$ включён промежуточный контур L_{K2} C_{K2} $C_{св}$. Конденсатор $C_{св}$ обеспечивает ёмкостную связь антенны с промежуточным контуром.

При внимательном рассмотрении схемы легко убедиться, что в цепь анода лампы $Л_2$ включён колебательный контур,

настроенный на ту же частоту, что и контур L_{K1} C_{K1}, связанный с сеткой лампы $Л_2$. Поэтому лампа $Л_2$ находится, по существу говоря, в том же режиме, что и лампа в схеме Кюна (рис. 19), т. е. контур L_{K1} C_{K1} связан с контуром $L_{K2} C_{K2} C_{св}$ через ёмкость C_{ag} — между анодом и сеткой лампы $Л_2$. Это обстоятельство легко может привести к самовозбуждению мощного каскада независимо от работы задающего генератора, вследствие чего потеряет смысл всё построение схемы с независимым возбуждением.

Чтобы избежать подобных явлений, техника пошла по пути разработки схем, нейтрализующих эффект ёмкости C_{ag} в генераторах с мощными триодами, и по пути разработки специальных конструкций стеклянных электронных ламп (тетродов и пентодов), в которых, благодаря введению между анодом и управляющей сеткой добавочной заземлённой через большую ёмкость экранирующей сетки, ёмкость C_{ag} становится столь незначительной, что обратная реакция анодного контура на сеточный делается ничтожной, и самовозбуждение оказывается невозможным.

Сущность схем нейтрализации заключается в том, что на сетку ламп мощного каскада, кроме возбуждающего напряжения от задающего генератора и напряжения от половины своего анодного контура, поданного через междуэлектродную ёмкость C_{ag}, подаётся в противофазе с последним напряжение от второй половины анодного контура через специальный нейтродинный конденсатор, ёмкость которого равна по величине C_{agl}. Тогда напряжение, пришедшее в цепь сетки через нейтродинный конденсатор, полностью компенсирует реакцию, получающуюся в цепи сетки через ёмкость анод-сетка, и в цепи сетки будет действовать только возбуждающее напряжение, даваемое задающим генератором [1]. Настройка цепи нейтрализации, особенно при коротких волнах, является довольно сложной операцией. Ряд авторов предложили упрощённые схемы нейтродинирования, но они обычно недостаточно эффективны. Более правильным было стремление возможно полнее учесть все элементы цепей генератора и цепи нейтрализации, что привело к сложным системам «двойных мостов» (Бушбек), а также к очень остроумной и удачной

[1] Описанная схема анодной нейтрализации получила наибольшее применение.

системе нейтрализации, предложенной Г. А. Зейтлёнком и нашедшей широкое применение в коротковолновых магистральных передатчиках средней и большой мощности.

Для каскадов усиления, собранных на стеклянных электронных лампах мощностью до 1 *квт,* особенно целесообразно применение тетродов и пентодов. Поэтому в настоящее время, за исключением маломощных станций, двухкаскадная система генератора с независимым возбуждением почти не применяется. Вместо этого между весьма маломощным, но хорошо стабилизированным по частоте задающим генератором и цепью сетки мощных каскадов включается ряд последовательных каскадов усиления высокой частоты, собранных на пентодах или тетродах. Только в последних ступенях передатчика, где применение триодов большой мощности неизбежно, используются нейтродинные схемы.

В многокаскадных передатчиках мощность последовательных ступеней от задающего генератора до последнего каскада мощного усиления постепенно возрастает, причём в зависимости от рабочей частоты и назначения передатчика коэфициент усиления мощности на один каскад выбирается в пределах от 4 до 50. Для более коротких волн эти коэфициенты ближе к нижнему пределу. Каскады, собранные на пентодах, допускают выбор наибольших коэфициентов усиления мощности.

Переход к средним, а затем коротким и ультракоротким волнам и развитие новых систем приёма настоятельно требовали для обеспечения надёжности связи всё большей стабильности частоты колебаний, излучаемых передающими станциями.

Если в начальный период применения ламповых передатчиков считалась удовлетворительной точность установки и поддержания частоты в пределах $0{,}1 \div 0{,}2\%$, то в настоящее время не всегда удовлетворяет стабильность в 100 раз выше указанной.

Изучение дестабилизирующих факторов показало, что основными причинами ухода частоты колебаний лампового передатчика от номинала являются: изменение параметров контура задающего генератора, главным образом, из-за температурных влияний; изменение режима его работы из-за непостоянства нагрузки, создаваемой цепью

сетки следующего за ним каскада; колебания напряжений источников питания задающего генератора и т. д.

Естественно поэтому, что борьба за высокую стабильность частоты началась со специального конструирования элементов задающего генератора с жёсткими в механическом смысле и температурно независимыми или термокомпенсированными конденсаторами и катушками индуктивности. Для дальнейшего повышения стабильности колебательный контур задающего генератора начали помещать в термостат, поддерживающий одну и ту же температуру, независимо от колебаний температуры окружающего пространства или выделения тепла элементами контура. Кроме того, был введён целый ряд приёмов для поддержания стабильными напряжений источников питания накала и цепи анода задающего генератора. Напряжения питания поддерживались постоянными с помощью систем с феррорезонансными трансформаторами и стабилизаторами напряжения, в которых применены лампы с тлеющим разрядом.

Наконец, чтобы устранить реакцию нагрузки цепи сетки каскада, следующего за задающим генератором, этот каскад, обычно называемый буферным, ставился в режим работы без токов сетки, для чего специально подбирались напряжения на управляющей и экранирующей сетках, смещавшие в отрицательную область рабочий участок характеристики буферной лампы.

Все эти мероприятия, значительно улучшившие стабильность частоты задающего генератора, довольно широко применяются в передатчиках, где требуется иметь широкий диапазон рабочих частот.

Благодаря работам Кэди (1922), предложившего применить ламповый генератор, частота которого фиксируется пьезоэлектрической кварцевой пластинкой, удалось перейти на значительно более высокую ступень стабилизации частоты ламповых радиостанций. В основу работы Кэди положено свойство пьезокварцевых пластин изменять свои геометрические размеры при помещении их в электрическое поле, направленное вдоль электрической оси кристалла, а также способность кварцевых пластин при изменении их геометрических размеров вдоль этой же оси накапливать на своих поверхностях электрические заряды. Таким образом, электрические и механические процессы в кварце-

вых кристаллах являются обратимыми. Если собственная частота механических колебаний кварцевой пластинки совпадёт с частотой изменения электрического поля, приложенного к ней, то такая пластинка, закреплённая в соответствующем держателе и включённая в цепь сетки задающего генератора (рис. 23) получит через ёмкость C_{ag} лампы первый толчок напряжения от случайно возникших колебаний в анодном контуре и будет поддерживать колебания в задающем генераторе.

Для этого требуется выполнение двух условий: чтобы частота колебаний анодного контура была несколько выше

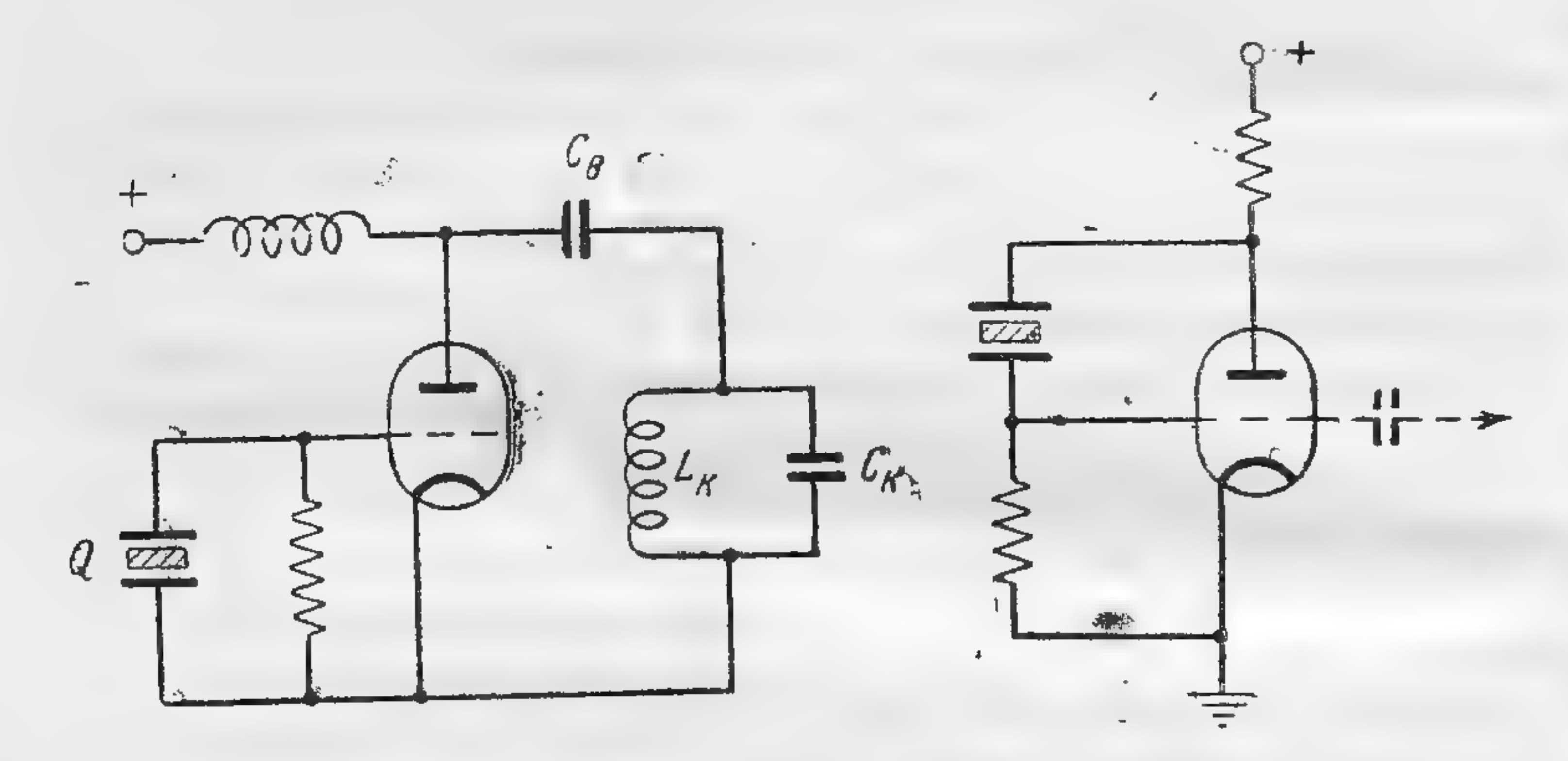


Рис. 23. Ламповый генератор с кварцевой стабилизацией (схема Пирса).

Рис. 24. Кварцевый осциллятор.

частоты собственных механических колебаний кварцевой пластины и чтобы через ёмкость анод-сетка лампы на сетку подавалось бы достаточное напряжение U_{mg}. Как мы видим, схема рис. 23 (схема Пирса) имеет некоторое сходство со схемой Кюна (рис. 19).

Чем ближе (со стороны высоких частот) будет настройка анодного контура к собственной частоте кварцевой пластинки, тем колебания будут интенсивнее; однако, стабильность частоты возрастает с отходом от резонансной частоты в сторону высоких частот. При резонансе частот пластины и контура и при частотах анодного контура более низких, чем собственная частота кварца—в кварцевом осцилляторе колебания возникнуть не могут.

С целью получить более высокую стабильность рекомен-

дуется заменить анодный колебательный контур индуктивностью. Правда, в этом случае интенсивность колебаний будет значительно ниже. Хорошие результаты даёт изображённая на рис. 24 схема кварцевого осциллятора, собранная на сопротивлениях, причём кварцевая пластина включена между сеткой и анодом. Эта схема особенно хороша в тех случаях, когда требуется работать на нескольких стабилизированных частотах, так как при ней для смены частоты следует просто заменить один кварц другим. Напряжение на сетку буферной лампы берётся через блокировочный конденсатор либо с анода, либо с сетки лампы задающего генератора (как показано пунктиром).

За последние годы техника изготовления кварцевых пластин усовершенствовалась. В частности, найдены срезы в кристалле, дающие высокую независимость частоты собственных колебаний кварца от изменений температуры (порядка 10^{-6} на 1° Ц).

Исключительное стабилизирующее действие кварцевых пластин объясняется тем, что они представляют собой систему с очень малым декрементом затухания (около 10^{-4}). Естественно, что ни одна конструкция колебательного контура не может быть осуществлена с подобным затуханием. Поэтому фиксирующая способность кварца в десятки раз выше, чем у лучших контуров.

Весьма благоприятным является то обстоятельство, что упругость кварца чрезвычайно высока. Благодаря этому удаётся для всех рабочих волн от 10 *м* до нескольких тысяч метров получать кварцевые пластины умеренных размеров, определяемых по простой формуле

$$\lambda(м) = 110 \div 150\ l\ (мм),$$

где λ — длина волны, генерируемой кварцевым осциллятором, а l — размер пластины, вдоль которого происходят колебания. Числовой коэфициент зависит от среза кристалла.

Обычно для волн от 10 до 600 *м* кварцевые пластинки возбуждают по толщине, а при более длинных волнах возбуждение производится по длине.

Если температурная зависимость частоты кварцевых пластин всё же окажется недостаточно высокой для некоторых современных требований, то кварцевую пластину помещают в специальный термостат. Температура в нём поддерживается с точностью до $\pm$ 0,1°Ц, что при хорошо

выбранном срезе кристалла обеспечивает исключительно высокую стабильность частоты кварцевого осциллятора.

Частота кварцевого осциллятора очень мало изменяется при изменении питающих напряжений или параметров колебательного контура. Более серьёзным фактором является смена ламп в осцилляторе. Обычно для осцилляторов применяют лампы с большим сроком службы (10 000 часов) и заранее производят подбор ламп с тождественными параметрами. Лампы проверяются на отклонение от заданной частоты при их работе в комплектуемой схеме и придаются в качестве запасных для осциллятора.

Если передатчик должен работать на нескольких частотах, то применение кварцевой стабилизации приводит к необходимости иметь число пластин, равное числу рабочих частот, если эти частоты не являются кратными. Это сильно затрудняет применение кварцевой стабилизации в ряде случаев. Чтобы получить достаточную стабильность частоты для значительного числа рабочих волн при небольшом количестве пьезокварцевых пластин, можно применить схему, предложенную Г. А. Зейтлёнком. В этой схеме рабочие частоты получаются путём смешения (подобно тому, как это делается в преобразователе супергетеродина) более высокой частоты, стабилизированной кварцем, с более низкой частотой, получаемой от плавнодиапазонного генератора, с последующим выделением либо разностной, либо суммарной частоты. Таким способом возможно, имея всего 5 пьезокристаллов, получить в диапазоне 50÷100 *м* 120 рабочих частот, отстоящих друг от друга на 25 *кгц*.

Наиболее короткие волны, при которых ещё удаётся эффективно осуществить кварцевую стабилизацию, ограничиваются 10÷12 *м*. Для стабилизации на более коротких волнах вместо кварца применяют пьезокристаллы турмалина, которые позволяют стабилизировать генераторы ультракоротких волн, работающие на волнах до 1 *м*.

На ультракоротких волнах удаётся облечь в достаточно конструктивную форму стабилизирующие устройства, выполненные в виде резонансных линий с очень малыми потерями, а следовательно, и очень низким декрементом (предложены Хэнселлом). Отрезок замкнутой концентрической линии длиной в четверть длины волны слабо связывается с цепью сетки лампового генератора. Благодаря отсутствию излучения и очень малым джоулевым потерям

фиксирующая способность такого устройства очень высока. Однако, необходимо предусмотреть хорошо проработанную систему термокомпенсации линии, чтобы исключить дестабилизирующее влияние изменений температуры.

Большим преимуществом резонансной линии является возможность стабилизировать частоту генератора мощностью в несколько киловатт. Хотя и имеются немногие попытки применить метод резонансных линий на коротких волнах, тем не менее их наилучшая область применения— это ультракороткие волны, при которых размеры линий не выходят за пределы разумного. Выработаны конструктив-

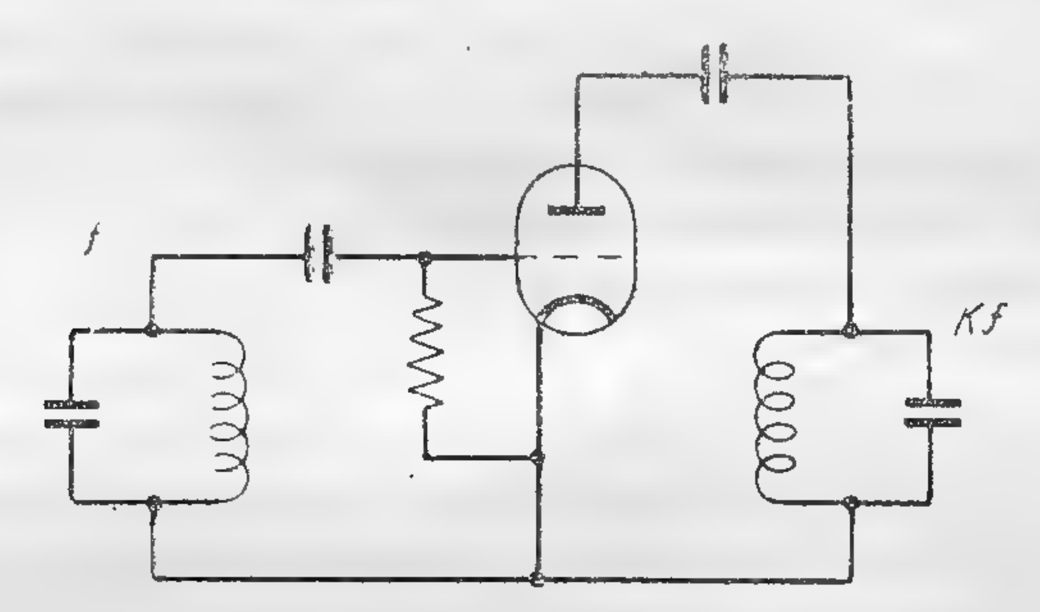


Рис. 25. Схема каскада умножения частоты.

ные приёмы для уменьшения геометрических размеров этих устройств путём увеличения диаметра внутренней трубы на её свободном конце.

Часто в технике коротких и ультракоротких волн находит применение осциллятор, генерирующий более низкие частоты, чем рабочая, с последующим включением в схему ряда каскадов умножения частоты с электронными лампами. Принцип электронных умножителей частоты ясен из схемы рис. 25. При заданном напряжении возбуждения на сетке, даваемом предыдущим каскадом генератора, и надлежащем выборе напряжения смещения на сетке, в цепи анода лампы умножителя получится отсечка импульсов анодного тока (колебания второго рода). Несинусоидальность кривой анодного тока указывает на наличие, кроме основной гармонической с частотой f, ряда высших гармонических $2f$, $3f$ и т. д. Если колебательный контур в цепи анода настроить на частоту kf, то этот контур будет пред-

ставлять незначительное сопротивление для тока с частотой f, но составляющие тока с частотой κf создадут на нём заметное падение напряжения. Правильный выбор соотношения возбуждающего и смещающего напряжений позволяет увеличить содержание желательной высшей гармонической. В ламповых передатчиках обычно применяют только удвоение ($\kappa=2$) и утроение ($\kappa=3$) частоты, так как с повышением номера гармоники падает амплитуда колебаний в анодном контуре и вместо однократного умножения с большим коэфициентом кратности выгоднее применить двух-или трёхкратное умножение с меньшим коэфициентом. Часто применяемое в коротковолновых передатчиках восьмикратное умножение частоты, даваемой кварцевым осциллятором, обычно достигается применением трёх последовательных каскадов удвоения частоты.

Хороший кпд выходного мощного каскада лампового передатчика может быть достигнут лишь при колебаниях второго рода. Поэтому в анодной цепи этого каскада вместе с основной гармонической анодного тока обязательно появятся и высшие гармонические. Чем выше затухание анодного контура, тем больше будет падение напряжения на нём, создаваемое высшими гармоническими. Наихудший случай представляет простая схема передатчика. Применение промежуточного контура даже с ёмкостной связью с антенной также не всегда является достаточным для необходимого подавления высших гармонических. В мощных радиостанциях, создающих вокруг себя значительную напряжённость поля основной частоты и высших гармонических, приходится применять между промежуточным контуром и антенной цепью связанный с ними обоими второй промежуточный контур.

Часто применяются схемы, фильтрующие в отдельности каждую высшую гармоническую.

Генерирование колебаний стабильной частоты, усиление их, умножение частоты и передача усиленных и освобождённых от высших гармонических колебаний в антенну является лишь первой частью задачи построения ламповой радиостанции. Вторая не менее важная часть задачи заключается в управлении колебаниями для передачи телеграфных сигналов, речи и музыки, изображений и т. д.

Передачу телеграфных сигналов (манипуляцию) можно

рассматривать как частный случай управления колебаниями — модуляции.

Колебания высокой частоты, как известно, определяются тремя величинами: амплитудой, частотой и фазой. Поэтому для осуществления радиотелефонной передачи можно воздействовать на любую из этих трёх величин и получить управление колебаниями или модуляцию. Если частота и фаза остаются неизменными, а изменения в соответствии с передаваемыми сигналами претерпевает только амплитуда колебаний тока в антенне, то мы имеем наиболее распространённый случай амплитудной модуляции. Если же амплитуда колебаний неизменна, а в такт с передачей сигналов изменяется частота колебаний, то налицо частотная модуляция, получающая всё большее применение для помехоустойчивой связи. Наконец, фазовая модуляция характеризуется изменением фазы колебаний при неизменных амплитуде и частоте.

Анализ модулированных колебаний показывает, что при амплитудной модуляции частотой F получается спектр частот, состоящий из основной—несущей частоты f_0, излучаемой передатчиком как при модуляции, так и без неё, и двух боковых частот $f_0 + F$ и $f_0 - F$. Обычно модуляция производится не одной частотой F, а целым спектром частот F_1, F_2, F_3.... Тогда вместо боковых частот получаются боковые полосы частот: $f_0 + F_1$; $f_0 + F_2$; $f_0 + F_3$ ... и $f_0 - F$; $f_0 - F_2$; $f_0 - F_3$...

При частотной или фазовой модуляции спектры частот получаются гораздо шире, чем при амплитудной модуляции, что ограничивает область применения этих видов модуляции ультракороткими волнами.

Простейший способ получения амплитудной модуляции в ламповых радиостанциях не отличается от описанного ранее способа включения микрофона в цепь антенны дугового генератора. Однако, применение подобной системы нецелесообразно даже для самых маломощных передатчиков. Ламповый генератор является настолько гибким устройством, что более целесообразно воздействовать на его цепи анода и сетки для получения модулированных колебаний во всём диапазоне мощностей от долей ватта до тысячи киловатт и более.

Независимо от системы можно выбрать место модуля-

ции в многокаскадном передатчике: это либо модуляция в одном из маломощных каскадов с последующим усилением модулированных колебаний, либо модуляция в последнем мощном каскаде.

Первый способ позволяет иметь весьма простые и маломощные модулирующие устройства, являющиеся по существу простыми усилителями низкой частоты, но зато он предъявляет ряд серьёзных требований к полосе пропускания частот всеми каскадами усиления, включёнными между модулируемым и выходным каскадами передатчика.

Второй способ позволяет упростить весь высокочастотный тракт лампового передатчика, но зато выдвигает весьма строгие требования к электроакустическим качествам многокаскадного усилителя низкой частоты с выходной мощностью, доходящей до сотен киловатт в наиболее крупных радиостанциях.

Системы анодной модуляции основаны на существовании линейной зависимости между током в колебательном контуре лампового генератора и напряжением на его аноде. Поэтому любая схема, у которой мощность, даваемая микрофоном и усиленная до необходимой величины, будет подведена в цепь анода лампового генератора последовательно с источником питания постоянного тока, позволит осуществить модуляцию на аноде.

Наибольшее применение получили система анодной модуляции Хейзинга, называемая схемой с неизменяемым током, система с последовательным включением модуляторной лампы в цепь анода генератора, называемая схемой с неизменяемым напряжением, впервые применённая в СССР М. А. Бонч-Бруевичем, и система с включением вторичной обмотки модуляционного трансформатора в цепь анода генераторной лампы. Последняя система нашла особенно широкое применение за последние годы на мощных радиостанциях. В качестве модулятора используется двухтактный мощный усилитель, работающий в классе В, аноды ламп которого подключены к первичной обмотке модуляционного трансформатора.

Режим лампового генератора при всех разновидностях модуляторов на аноде остаётся тот же и характеризуется анодным напряжением питания генератора

$$e_a = E_0 + U_{ma} \cos \Omega t,$$

где E_0 — напряжение источника постоянного анодного напряжения, $U_{m\Omega}$ — амплитуда модулирующего напряжения в цепи анода с частотой $F = \frac{\Omega}{2\pi}$.

В схеме Хейзинга (рис. 26) переменное напряжение на аноде генераторной лампы получается благодаря включению в цепь анодного питания модуляционного дросселя с большой индуктивностью, препятствующего изменению тока питания при изменении тока в цепи анода модуляторной лампы, вызванном модулирующим напряжением на

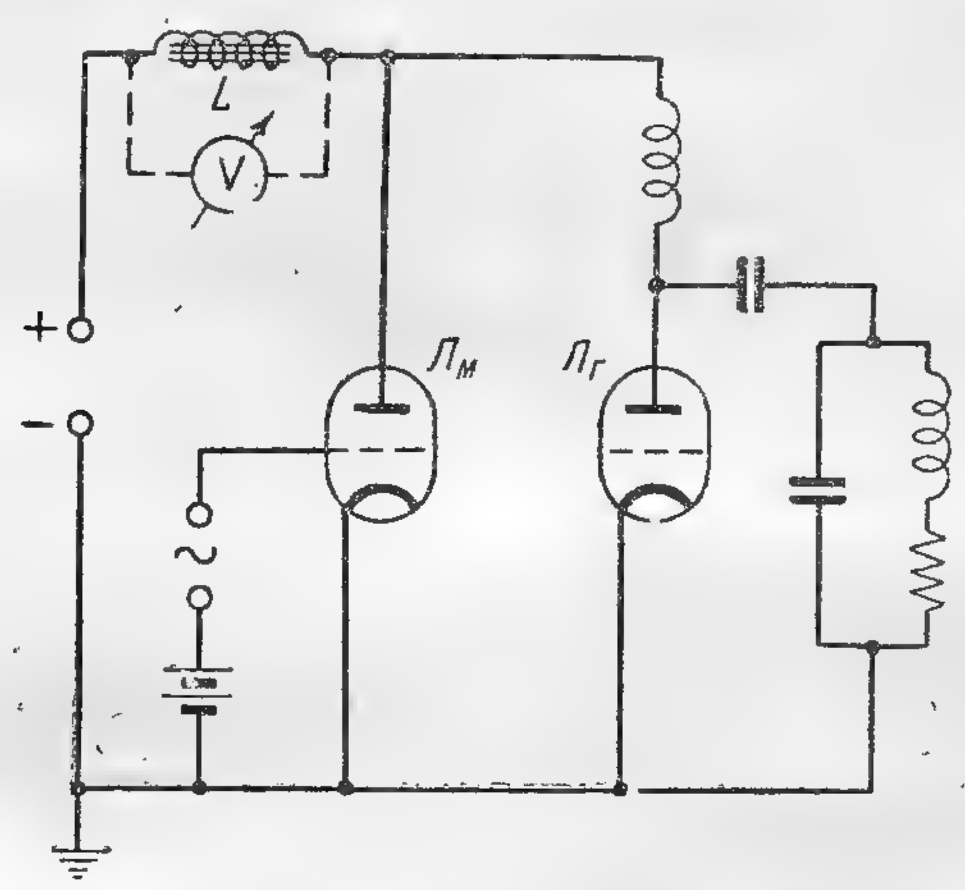


Рис. 26. Схема модуляции на аноде по Хейзингу.

сетке этой лампы. Поэтому при уменьшении анодного тока модулятора (напряжение на его сетке отрицательное) на дросселе возникает напряжение, добавляющееся к напряжению источника постоянного тока, и, наоборот, при увеличении тока модулятора (напряжение на его сетке положительное) напряжение на дросселе будет иметь обратный знак и вычтется из напряжения источника постоянного тока. Если изменения тока в цепи анода модуляторной лампы будут происходить от нуля до двойного значения постоянного тока в цепи анода генераторной лампы, то напряжение на аноде генераторной лампы будет изменяться в пределах $E_0 \pm E_0$, т. е. от 0 до $2E_0$. При этом и ток в колебательном контуре будет изменяться от нуля до двойного значения тока несущей частоты. Такой режим полного

использования амплитуды колебаний для модуляции соответствует коэфициенту модуляции равному единице.

В системе последовательной модуляции (рис. 27) источник постоянного тока в цепи анода выбирается с напряжением равным $2E_0$. В режиме, соответствующем несущей частоте без модуляции, это напряжение делится поровну между генератором и модулятором, и их анодные напряжения будут соответственно равны E_0 и E_0. При воздействии модулирующего напряжения на сетку модулятора его сопротивление будет изменяться, тогда как сопротивление постоянному току генератора, как и всегда при анодной модуляции, останется неизменным. В результате в отрицательный полупериод модулирующего напряжения на сетке модулятора большая часть напряжения источника постоянного тока будет оставаться на модуляторе, а меньшая часть на генераторе. В положительный полупериод, наоборот, напряжение на модуляторе упадёт, а на генераторе возрастёт. При полной модуляции напряжение на аноде генераторной лампы, как и в случае схемы Хейзинга, будет изменяться от $2E_0$ до нуля.

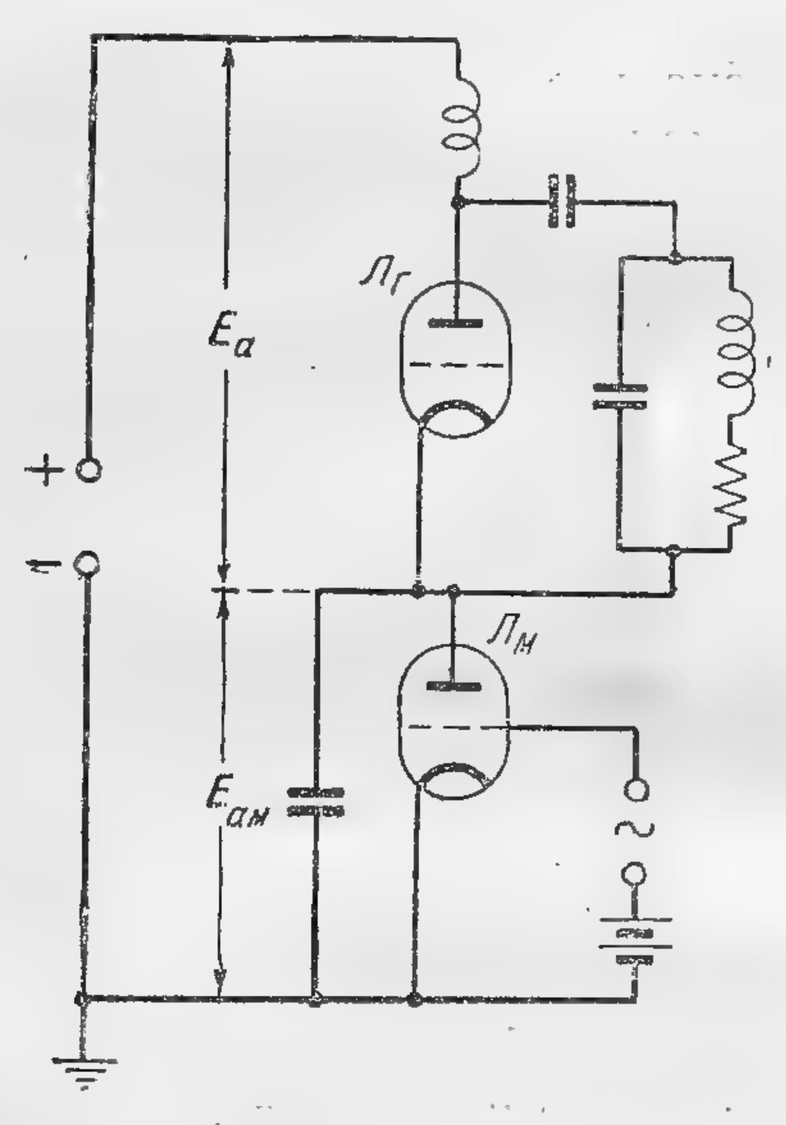


Рис. 27. Схема модуляции на аноде с последовательным включением модуляторной лампы.

После изложенного схема с модуляционным трансформатором в цепи анода генератора (рис. 28) понятна без пояснений.

Все схемы анодной модуляции, кроме последней (рис. 28) в случае работы модуляторных ламп в режиме класса B, требуют в модуляторном устройстве в 3—4 раза больше ламп, чем в генераторе. Несоблюдение этого требования приводит либо к ограничению глубины модуляции либо к появлению нелинейных искажений.

Системы модуляции на сетке основаны на существовании приближенно-линейной зависимости тока в колебательном

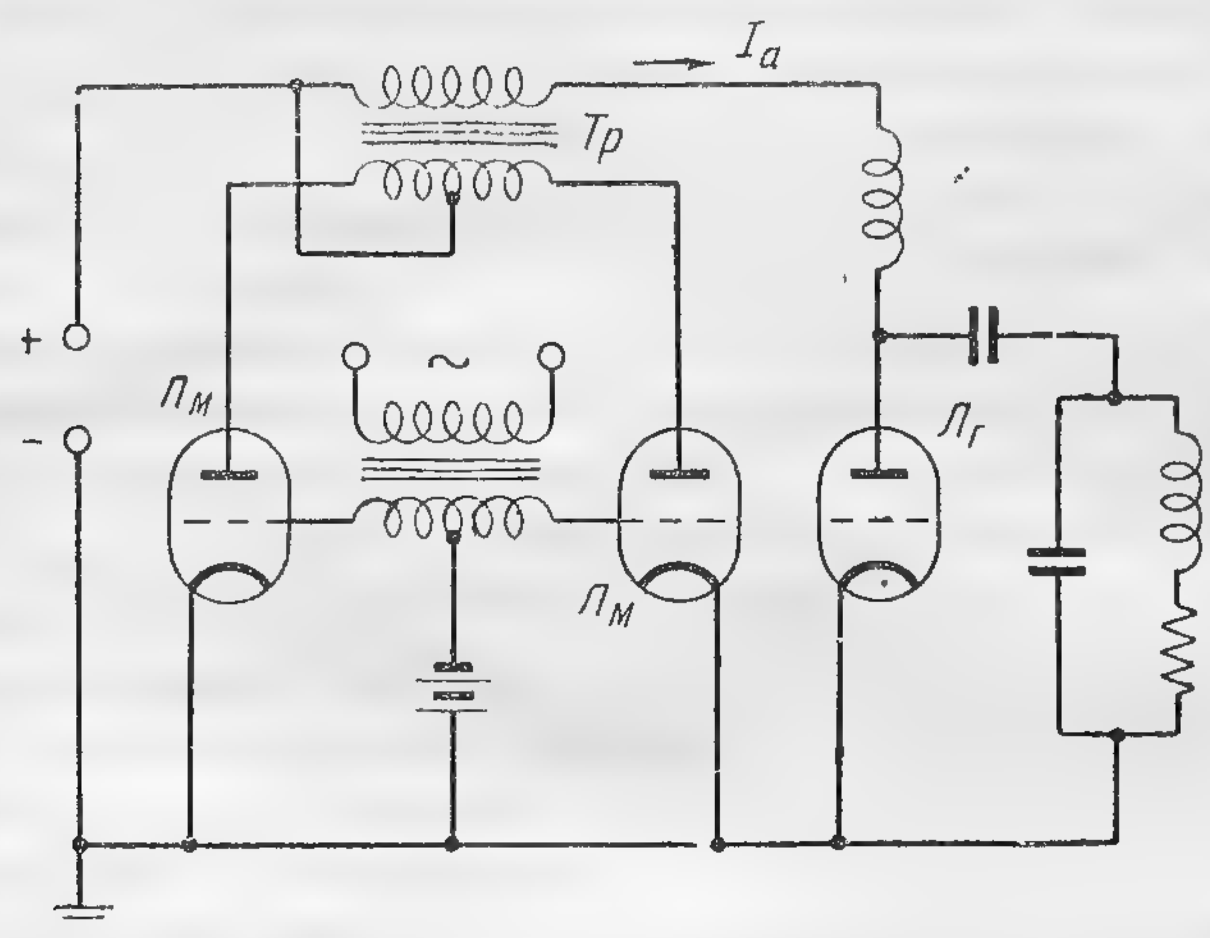


Рис. 28. Схема модуляции на аноде с двухтактным модулятором.

контуре генератора с независимым возбуждением от на-

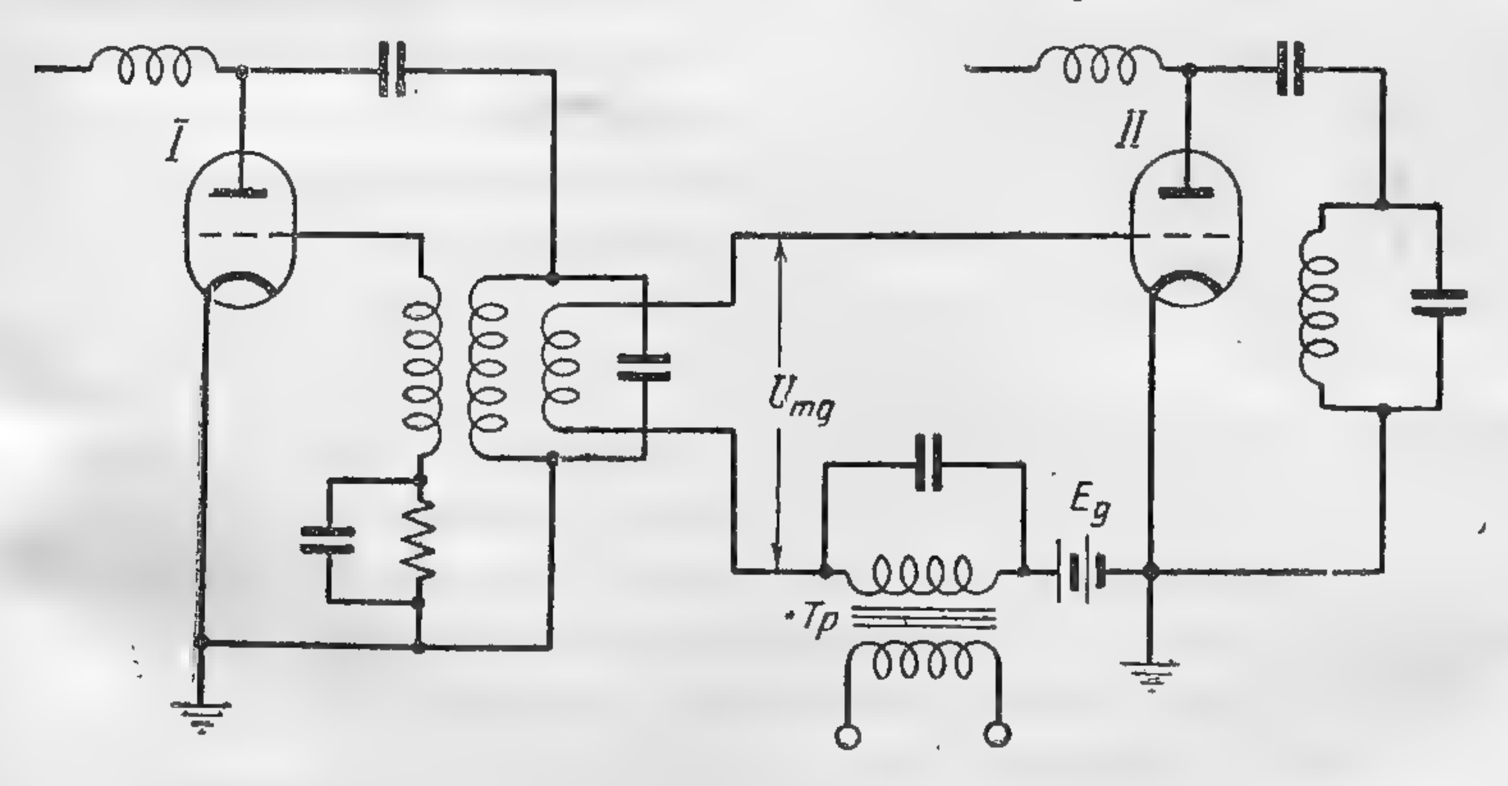


Рис. 29. Схема модуляции на сетке с микрофонным трансформатором.

пряжения смещения на сетке E_g при неизменном напряжении возбуждения высокой частоты U_{mg}, а также от амплитуды напряжения возбуждения U_{mg} при неизменном E_g.

Вторая группа схем модуляции в настоящее время уже потеряла своё практическое значение.

Первая же группа имеет ряд разновидностей, среди которых наибольшее применение получили схема с микрофонным трансформатором, схема Шефера и схема Н. И. Оганова. На мощных радиовещательных станциях СССР с сеточной модуляцией почти исключительное применение получила схема А. Л. Минца.

На рис. 29 изображена схема модуляции на сетке с микрофонным трансформатором. Модулирующее напряжение низкой частоты, развиваемое вторичной обмоткой трансформатора *Тр*, подаётся в цепь сетки лампового генератора последовательно с возбуждающим напряжением U_{mg}. В результате напряжение смещения на сетке будет изменяться от напряжения, соответствующего отдаче генератором максимальной мощности в положительный полупериод модуляции («телеграфный режим»), до напряжения смещения, полностью компенсирующего возбуждающее напряжение U_{mg}, благодаря чему мощность генератора упадёт до нуля в отрицательный полупериод модуляции.

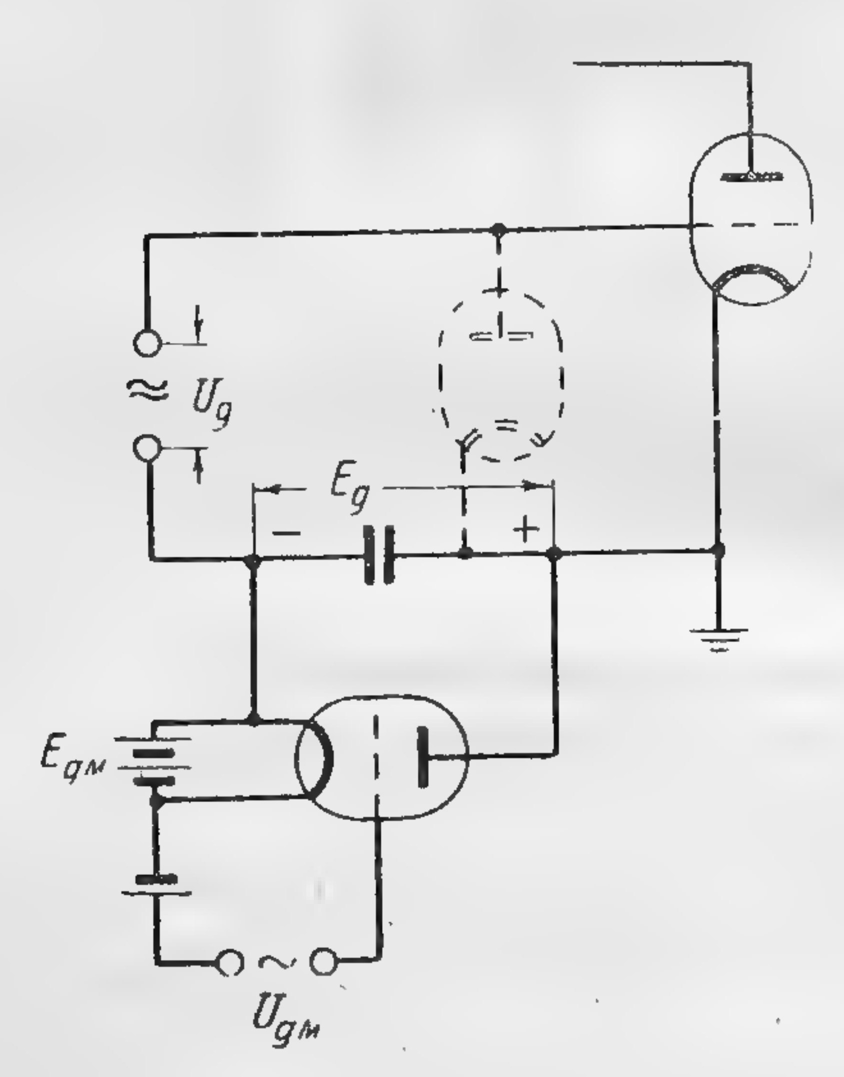


Рис. 30. Схема модуляции по Шеферу.

В схеме Шефера (рис. 30) такие же изменения смещающего напряжения получаются благодаря переменному падению напряжения, вызванному на изменяющемся сопротивлении модуляторной лампы (включённой последовательно в цепь сетки генератора) прохождением через неё постоянной составляющей тока сетки генератора. Большим недостатком схемы Шефера является зависимость работы модулятора от цепи сетки генератора, каковая не может считаться достаточно однозначной. Возникновение в этой цепи динатронного тока вызывает необходимость

усложнить схему включением добавочного кенотрона (показан пунктиром).

Схема Н. И. Оганова использует в качестве источника переменного смещения модуляторную лампу, анодный ток которой проходит через постоянное сопротивление, включённое в цепь сетки генераторной лампы.

В схеме А. Л. Минца переменное напряжение смещения получается благодаря реостатно-дроссельному переходу из цепи анода модуляторной лампы в цепь сетки модулируемого генератора. Эту схему целесообразно применять в генераторах с малым током сетки, т. е. в маломощных каскадах передатчика. Особенностью её является хорошее воспроизведение широкого спектра частот, что дало ей применение не только для радиотелефонии, но и для телевизионной передачи (телевизионные центры Москвы и Нью-Йорка). Описанная схема несколько усовершенствована А. Я. Брейтбартом.

В случае применения тетродов и пентодов для модуляции может быть использована подача модулирующего напряжения на экранирующую или на супрессорную сетку.

Усиление модулированных колебаний высокой частоты также можно рассматривать как схему модуляции на сетке с неизменным смещением и изменяющейся амплитудой возбуждения. Поскольку выходной каскад должен обеспечить в телеграфном режиме двойное значение тока в антенне, т. е. 4-кратную мощность, то и мощность ламп последнего каскада должна соответствовать этому требованию. Поэтому число ламп в выходном каскаде выбирается в 4÷6 раз больше, чем это необходимо для создания заданной мощности на несущей частоте.

Таким образом, за исключением модуляции в классе В, ламповый комплект передатчика с анодной модуляцией в последнем каскаде и с модуляцией на сетке будут одного порядка, но распределение этих ламп различно. В то время как при модуляции на аноде большая часть ламп устанавливается в модуляторе, т. е. работает на низкой частоте, при модуляции на сетке все лампы устанавливаются в генераторе и работают на высокой частоте. Последнее обстоятельство заставляет предпочесть анодную модуляцию в передатчиках коротких и ультракоротких волн.

Качество работы современного радиотелефонного передатчика характеризуется в первую очередь верностью вос-

произведения передаваемой программы. Объективная оценка верности воспроизведения определяется частотными и амплитудными характеристиками, дающими зависимость коэфициента модуляции передатчика от частоты модулирующего напряжения при неизменной его амплитуде и зависимость коэфициента модуляции от амплитуды модулирующего напряжения при заданной неизменной частоте. В длинноволновых передатчиках особенно трудно получить хорошую частотную характеристику. Работы советских радиоинженеров (З. И. Модель и др.) впервые достаточно полно и строго осветили этот вопрос. По мере совершенствования методики измерений вместо снятия амплитудных характеристик перешли к прямым измерениям нелинейных искажений в передатчиках путём оценки величины коэфициента нелинейных искажений (клирфактора), характеризующего содержание высших гармонических звуковой частоты при модуляции одним тоном. Была также разработана методика измерения уровня паразитного фона, порождаемого в передатчике независимо от наличия модуляции. Этот фон, как правило, вызывается источниками питания передатчика.

В течение последних 10 лет разработан способ компенсации нелинейных искажений и фона в передатчиках при помощи «противосвязи», предложенной Блэком и Найквистом. Данная ими теория дополнительно развита и успешно применена С. В. Персоном на ряде мощных советских радиостанций.

Лучшие современные радиовещательные передатчики имеют частотную характеристику от 50 до 10 000 *гц* с отклонением от средней линии, параллельной оси абсцисс, в пределах $\pm 0,5$ *дб*; клирфактор при стопроцентной модуляции ниже 3%, а уровень фона на $55 \div 60$ *дб* ниже уровня, соответствующего полной глубине модуляции. При этом применение противосвязи позволило осуществить питание передатчика, в том числе и накала всех ламп, полностью от сети переменного тока.

Увеличение числа одновременно работающих радиотелефонных станций заставило заняться сужением спектра частот, занимаемого боковыми полосами. Кроме того, представляется весьма целесообразным использовать всю мощность передатчика для передачи одной из боковых полос с тем, чтобы на месте приёма восстановить несущую частоту

от местного гетеродина и после детектирования получить нормальный приём программы. Этот метод, несмотря на его бесспорную экономичность, пока нашёл сравнительно небольшое применение из-за значительного усложнения приёмных устройств. Наиболее интересные работы в этой области принадлежат Кумансу и нашему соотечественнику А. М. Кугушеву. В будущем этот метод радиотелефонии вероятно получит более широкое применение на радиотелефонных магистралях.

Непрерывный рост мощностей радиотелефонных станций, уже превысивших 1000 *квт,* заставил серьёзно подойти к вопросу о промышленном кпд передатчиков, который был весьма низок и находился в пределах 20÷23%. Это стремление в большинстве случаев сводилось к переводу генераторов в режим близкий к телеграфному, когда кпд мощного каскада при отсутствии модуляции мог быть поднят до 55÷70% вместо обычных 30÷35%. Одним из лучших, хотя и несколько громоздких, решений является описанная выше (рис. 28) схема анодной модуляции с двухтактным модулятором. Для повышения общего кпд на сетки модуляторных ламп даётся значительное напряжение смещения, сводящее при отсутствии модуляции потребление анодной цепи модуляторных ламп почти до нуля. При модуляции анодный ток в лампах модулятора возрастает и обеспечивает добавление мощности в цепь анодного питания генератора с довольно хорошим кпд. Так как генераторные лампы в схемах с анодной модуляцией работают с высокой отдачей, то удаётся получить повышение полного кпд радиостанций в 1,5÷1,6 раза при одновременном уменьшении числа ламп в мощном каскаде до 2 раз. Двухтактная схема модулятора позволяет сильно ослабить высшие чётные гармонические модулирующего напряжения, а применение противосвязи доводит клирфактор до весьма скромных значений. Эта система модуляции получила весьма широкое применение на новейших радиостанциях в СССР, США и других странах. Ряд оригинальных работ советских радиоспециалистов (З. И. Модель, С. В. Персон, А. И. Лебедев-Карманов, А. М. Писаревский) позволили внедрить эту систему на крупнейших в мире радиостанциях.

Известный интерес представляет схема для повышения кпд радиотелефонного передатчика, предложенная Ширек-

сом и получившая название системы модуляции дефазированием. В схеме Ширекса передатчик состоит из двух отдельных многокаскадных каналов, имеющих общий задающий генератор и общий выходной промежуточный контур, связанный с антенной. В каждом канале производится модуляция путём одинакового изменения фазы колебаний высокой частоты в противоположные стороны относительно фазы колебаний задающего генератора. Геометрическое сложение в общем промежуточном контуре усиленных в каждом канале высокочастотных колебаний приводит снова к амплитудной модуляции, так как изменение фазы колебаний в каналах производилось симметрично относительно фазы колебаний задающего генератора. Поскольку оба канала работают в телеграфном режиме, кпд мощных выходных каскадов получается порядка 55%, что существенно повышает общий кпд передатчика. Система Ширекса получила применение на мощных радиовещательных станциях Франции и Люксембурга.

Решению той же задачи повышения кпд посвящена, нашедшая себе в последние годы применение в США, система модуляции Догерти (1936). В этой системе мощный каскад передатчика разбивается на 2 блока. Первый блок обеспечивает подачу в антенну колебаний несущей частоты при отсутствии модуляции, а также колебаний, имеющих амплитуды ниже уровня несущей («модуляция вниз»). Второй блок передаёт в антенну колебания, добавляющиеся к амплитуде колебаний несущей частоты и обеспечивает «модуляцию вверх». При отсутствии модуляции второй блок благодаря значительной величине отрицательного смещения заперт и почти не потребляет анодного тока.

Надлежащая работа обоих блоков достигается включением между одним из них и нагрузочной цепью специального «контура инвертирования импеданца» и сдвигом на 90° фазы высокочастотного напряжения возбуждения сеток ламп обоих блоков. В схеме Догерти неизбежно возникают значительные нелинейные искажения, однако, они весьма полно компенсируются применением глубокой противосвязи, благодаря чему электроакустические показатели этой системы не ниже, чем у других систем. Кпд выходного каскада достигает 60÷65%. Преимуществом схемы Догерти является простота тракта низкой частоты, поскольку моду-

лирующее устройство работает в цепях относительно малой мощности.

Харбиг, Пунгс и Герт, а также наш соотечественник А. Я. Брейтбарт предложили для сокращения потребляемой радиотелефонным передатчиком энергии систему с переменной амплитудой несущей частоты. Сущность этого предложения заключается в том, что в передатчике, модулируемом в одном из маломощных каскадов, одновременно с модуляцией изменяется амплитуда колебаний несущей частоты таким образом, что при малых значениях модулирующего напряжения амплитуда колебаний несущей частоты уменьшается; это эквивалентно снижению мощности, излучаемой передатчиком, при одновременном увеличении глубины модуляции. При больших значениях модулирующего напряжения амплитуда колебаний несущей частоты увеличивается. Таким образом, глубина модуляции остаётся почти неизменной и всегда почти полной, тогда как амплитуда несущей частоты изменяется от минимального значения, принятого около 30% от номинала амплитуды тока несущей, до 100% номинала этой амплитуды. Этим описанная система резко отличается от всех остальных, у которых амплитуда колебаний несущей неизменна, а изменяется коэфициент модуляции. Система с переменной амплитудой несущей очень проста и допускает применение при незначительной переделке любого радиотелефонного передатчика. Она получила довольно широкое применение благодаря значительному сокращению потребления энергии мощным каскадом передатчика.

Совершенно особняком стоят системы повышения кпд радиотелефонных передатчиков за счёт искажения формы кривой анодного и сеточного напряжений ламп выходного каскада передатчика. Родоначальницей этих систем является схема «модуляции на интервале», предложенная А. Л. Минцем (1932). Включение в цепь анода выходного каскада передатчика, кроме контура, настроенного на основную частоту f, также контуров, настроенных на нечётные гармонические $3f$, $5f$ и т. д., позволяет при возбуждении сеток выходного каскада напряжением высокой частоты прямоугольной формы, длительность которого изменяется в соответствии с амплитудой модулирующего напряжения, получить значительно лучшее использование электронных ламп и высокий кпд при отсутствии модуляции.

Практическое исследование этой системы И. Н. Фомичёвым (1936) показало, что вполне удовлетворительные результаты даёт включение в цепь анода всего одного добавочного контура, настроенного на частоту $3f$. Этот способ получил применение на ряде радиостанций Союза, а впоследствии (1940) был использован на новейших передатчиках США. К этой же группе относится система, предложенная А. И. Колесниковым.

Целый ряд предложений для повышения кпд, из которых мы назовём лишь принципиально весьма интересную «си-

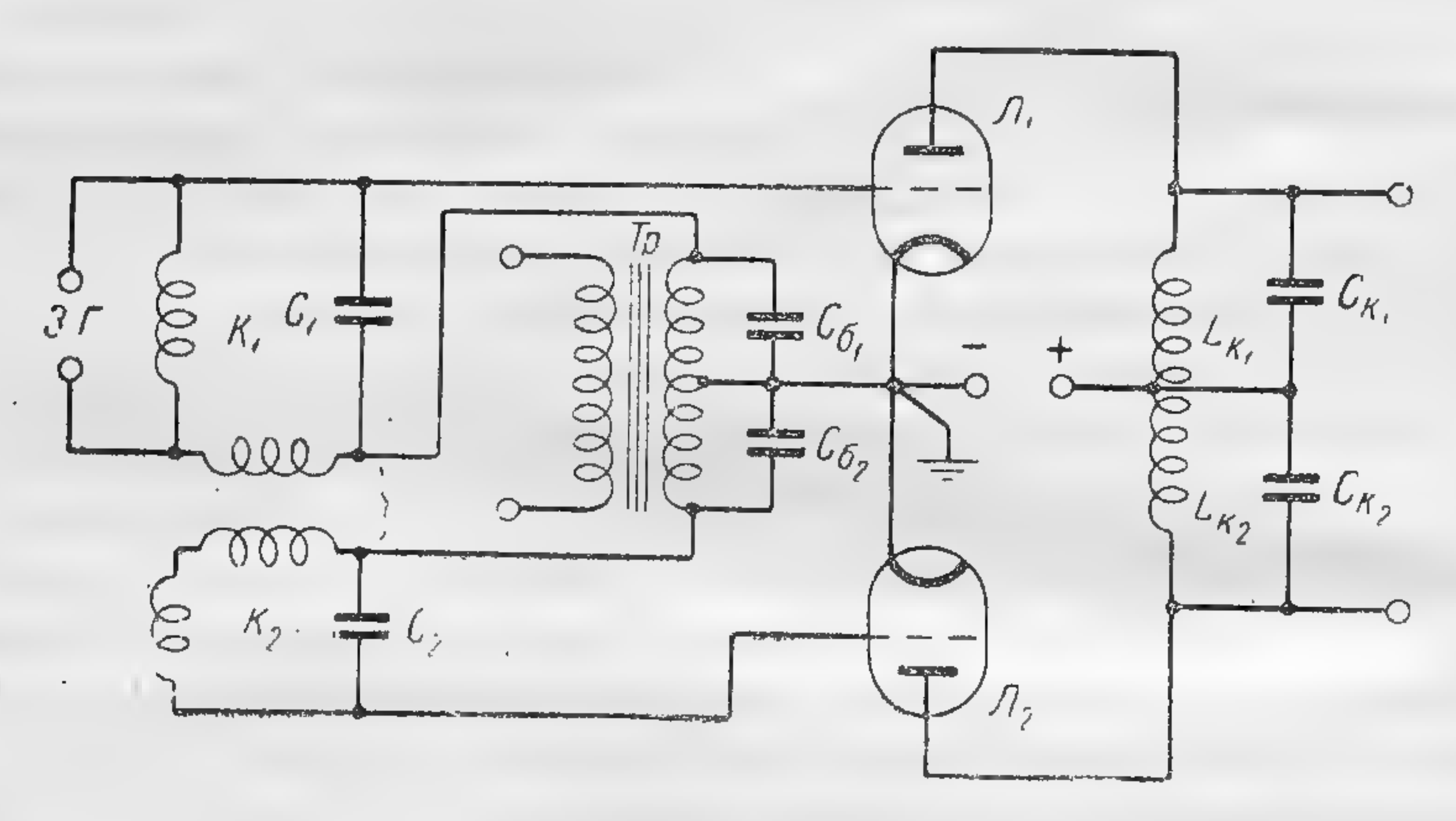


Рис. 31. Схема для получения фазовой модуляции.

стему с раздельным излучением» М. А. Бонч-Бруевича, не был практически осуществлён.

Работы Армстронга установили значительные преимущества применения широкополосной частотной модуляции для высококачественного приёма на ультракоротких волнах. В связи с этим получили развитие системы, обеспечивающие частотную и фазовую модуляции в радиопередающих устройствах.

Одна из первых схем фазовой радиотелефонной модуляции была разработана в 1932 г. Г. А. Зейтлёнком и Е. И. Каменским; сущность их предложения (рис. 31) заключается в следующем: колебательный контур K_1, включённый в цепь анода задающего генератора *ЗГ*, индуктивно связан с настроенным на частоту задающего гене-

ратора контуром K_2. Благодаря такой связи токи в контурах K_1 и K_2, а следовательно, и напряжения на конденсаторах C_1 и C_2 оказываются сдвинутыми по фазе на 90° друг относительно друга. Сетка лампы $Л_1$ получает возбуждение высокой частоты, сдвинутое по фазе на 90° относительно возбуждения сетки лампы $Л_2$. Если напряжение U_{mg1} будет равно U_{mg2} при отсутствии модуляции, то в анодных контурах $L_{K1}C_{K1}$ и $L_{K2}C_{K2}$ получатся токи, соответствующие напряжениям возбуждения ламп $Л_1$ и $Л_2$. При модуляции, благодаря применению вторичной обмотки микрофонного трансформатора с заземлённой средней точкой, напряжения смещения, даваемые трансформатором *Тр* на сетки ламп $Л_1$ и $Л_2$, всегда находятся в противофазе. В пределе, когда на сетке лампы $Л_1$ имеется наибольшее положительное напряжение смещения, на сетке $Л_2$ имеется наибольшее отрицательное напряжение, и лампа $Л_2$ оказывается запертой. В этом случае работает только лампа $Л_1$ и результирующее напряжение на контуре $L_{K1}C_{K1}$ соответствует по амплитуде и фазе возбуждающему напряжению первой лампы. В следующий полупериод модуляции получаются обратные соотношения, работает лампа $Л_2$, а $Л_1$ оказывается запертой. Напряжение на контуре $L_{K2}C_{K2}$ будет соответствовать по амплитуде и и фазе возбуждающему напряжению второй лампы. Во всех промежуточных случаях фаза вектора суммарного напряжения на контурах $L_{K1}C_{K1}$ и $L_{K2}C_{K2}$ изменяется между указанными выше крайними положениями. Легко заметить, что амплитуда суммарного напряжения на контурах $L_{K1}C_{K1}$ и $L_{K2}C_{K2}$ во время модуляции по фазе не остаётся постоянной, т. е. вместе с фазовой модуляцией получается и амплитудная модуляция; при малых углах изменения фазы она будет неглубока.

Для увеличения изменения фазового угла при модуляции после модулируемого каскада включают несколько каскадов умножения частоты с электронными лампами. В результате изменение фазового угла в последнем каскаде будет равно произведению изменения угла на выходе контуров $L_{K1}C_{K1}$ и $L_{K2}C_{K2}$ на число умножений частоты.

Схема фазовой модуляции может быть легко превращена в схему частотной модуляции. Для этого в цепь сетки какого-либо каскада низкой частоты, включённого перед трансформатором *Тр*, добавляется цепь, состоящая из по-

следовательно включённых сопротивления и ёмкости, так, чтобы между сеткой и катодом была включена ёмкость. Тогда напряжение в цепи сетки будет понижаться с повышением частоты модулирующих напряжений и в результате после фазового модулятора получатся колебания, модулированные по частоте.

Частотную модуляцию можно получить и непосредственно путём изменения в такт с модуляцией ёмкости или индуктивности колебательного контура нестабилизированного задающего генератора. Для этой цели часто применяется предложенная Фостером и Сили схема, в которой параллельно колебательному контуру задающего генератора включена реактивная модуляторная лампа, действие которой широко используется в радиоприёмниках с автоподстройкой. Модулирующее напряжение в этом случае подводится к сетке реактивной лампы, играющей по желанию роль переменной ёмкости или индуктивности.

Передатчики с реактивной лампой значительно проще передатчиков с частотно-фазовой модуляцией, но обладают худшей стабильностью частоты. Поэтому обычно в этих передатчиках применяются специальные регуляторы частоты с пьезокварцевым эталоном, которые, не реагируя на быстрые изменения частоты во время модуляции, хорошо следят и поправляют медленные изменения частоты, происходящие из-за действия различных дестабилизирующих факторов.

Частотная модуляция, помимо ряда специальных приложений, широко вошла в практику США для высококачественного ультракоротковолнового радиовещания.

Передача радиотелеграфных сигналов (манипуляция) может осуществляться также при помощи схем амплитудной и частотной модуляции. Для получения амплитудной манипуляции можно применить любую схему модуляции, имеющую статическую модуляционную характеристику, т. е. схему, в которой любому заданному постоянному значению модулирующего напряжения соответствует определённый ток в антенне. Поэтому для целей манипуляции могут быть применены схема анодной модуляции с последовательным включением, схемы Шефера, Оганова, Мандельштама и Папалекси и др. Имеется и ряд специальных схем, использующих для перерыва колебаний подачу больших запирающих отрицательных напряжений на управляющую,

экранирующую или супрессорную сетку какого-либо из каскадов передатчика.

По мере возрастания скоростей телеграфной манипуляции, достигших уже 1000 слов/мин. всякого рода электромеханические манипуляторы (ключи, манипуляционные реле и т. д.) не могли в силу своей инерционности обслужить радиотелеграфные передатчики. Это вызвало разработку новых систем электронных манипуляторов, пока не ограничивающих необходимые манипулятивные скорости. Среди них необходимо отметить впервые применённые электронные манипуляторы И. Х. Невяжского и Е. И. Каменского.

Частотная манипуляция может быть легко получена, если в схеме Фостера и Сили вместо модулирующего напряжения на сетку реактивной лампы подавать в соответствии с передаваемыми сигналами постоянное или изменяющееся в заданных пределах переменное напряжение. Подобные устройства получили применение на коротковолновых магистральных линиях радиосвязи.

Для осуществления помехоустойчивых каналов радиотелеграфной связи в последнее время находят широкое применение системы передачи на двух частотах позитивного и негативного сигналов с использованием обоих сигналов в приёмном устройстве. Одна из первых систем такого типа была предложена в 1927 г. А. Л. Минцем, П. Н. Куксенко, Н. Н. Циклинским и Н. И. Огановым.

Описанные выше основы техники ламповых радиостанций могут быть в равной степени отнесены ко всевозможным типам радиопередатчиков самого разнообразного назначения длинных, средних и коротких волн. Более того, можно утверждать, что современные схемы радиопередатчиков в этих диапазонах при мощностях, примерно, до 100 *квт* достаточно стабилизировались.

Современный передатчик длинных и средних волн представляет собой многокаскадный усилитель высокой частоты, возбуждаемый стабильным кварцевым осциллятором, с выходным каскадом, питающим через промежуточный контур антенную систему.

Модуляция в таком передатчике обычно производится на выходном каскаде, причём применяется одна из систем с повышенным кпд (класс В, Догерти, дефазирование и т. д.). Коротковолновый передатчик отличается от описан-

ной скелетной схемы средневолнового передатчика лишь наличием между осциллятором и мощным выходным каскадом ряда ступеней умножителей частоты с электронными лампами.

При переходе к мощностям, измеряемым сотнями и тысячами киловатт, для построения мощного каскада приходится искать новые пути. Советская школа мощного радиостроения выдвинула и изучила ряд новых систем получения сверхмощностей для радиовещательных станций длинных и коротких волн. Когда потребовалось сооружение 500-*квт* радиостанции им. Коминтерна (1931), А. Л. Минц впервые предложил блоковую систему, заключающуюся в перенесении принципов строительства мощных электростанций в радиотехнику. В последнем каскаде были применены 6 стокиловаттных ламповых генераторов—блоков, работающих на общий промежуточный контур, связанный с антенной. Синхронная и синфазная работа блоков достигалась возбуждением их сеточных цепей от общего для них всех задающего генератора с последующими каскадами усиления. Блоковая система была подробно изучена З. И. Моделем.

В результате впервые удалось создать радиостанцию непрерывного действия, у которой можно было включать и выключать блоки на ходу, производить профилактический и аварийный ремонт, не прерывая эксплоатации радиостанции. При строительстве 500-*квт* радиостанции WLW (1934) в Цинцинати наша советская система блоков была заимствована американцами, как наилучшее решение задачи построения сверхмощных радиостанций.

Впоследствии, в 1934 г. А. Л. Минц предложил усовершенствовать блоковую систему, использовав схему модуляции в классе В и введя модуляцию в каждый блок выходного каскада.

Эта «система генераторно-модуляторных блоков» нашла применение в крупнейшей в мире радиовещательной станции средних и длинных волн, построенной в нашем Союзе в дни Великой Отечественной войны (1941—1943).

Совершенно иной принцип построения выходного каскада сверхмощной коротковолновой радиовещательной станции был предложен и осуществлён И. Х. Невяжским (1936—1938) в «системе сложения мощностей в эфире». В этой системе передатчик разбивается на два канала,

возбуждаемых от общего задающего генератора. Каждый канал имеет выход на самостоятельную систему фидеров, питающую свою половину антенны, устроенную так, что взаимодействие обеих половин антенны сведено к минимуму. Таким образом, каждый канал даёт только половину необходимой мощности, а в пространстве происходит сложение этих мощностей и на месте приёма эффект соответствует излучению радиостанцией полной мощности.

По мере укорочения длин волн, применяемых в современной радиосвязи, изменяется и техническое лицо радиопередатчиков. Переход на ультракороткие волны характерен заменой контуров с сосредоточенными постоянными цепями с распределёнными постоянными в виде линий Лехера или резонансных линий. Переход в область дециметровых и сантиметровых волн привёл к появлению новых систем генерирования колебаний при помощи особых типов ламп — магнетронов и клистронов, работающих на совершенно иной теоретической основе, чем триоды, тетроды и пентоды. Контуры в этом диапазоне волн заменены замкнутыми пространствами, окружёнными проводящими стенками [1].

Эта новейшая техника властно проникает в ряд специальных областей радиотехники и в особенности в радиолокацию. Однако, и ряд проблем радиосвязи окажется неразрешимым без применения этих «новых» диапазонов волн, к которым мы возвращаемся после длительного пути, начатого блестящими работами великого русского физика П. Н. Лебедева, впервые получившего волны длиной в 6 *мм*.

В заключение нашего обзора отметим, что путь, пройденный от первого маломощного искрового передатчика, получавшего питание от скромной аккумуляторной батареи, до современных сверхмощных радиостанций, потребляющих тысячи киловатт,— это путь упорного труда, углублённого изучения сложнейших процессов, яркого изобретательства и смелых инженерных дерзаний.

Учёные и инженеры всех цивилизованных стран вложили свою долю творческих усилий в дело развития радиотехники.

[1] См. в настоящем сборнике статью Б. А. Введенского и Ю. И. Казначеева «Ультракороткие волны».

Однако, мы гордимся тем, что первое звено этой цепи 50 лет назад было заложено А. С. Поповым в России, в Кронштадтской электроминной школе и тем, что советские учёные и инженеры, идя своими собственными путями, создали самые мощные в мире радиостанции.

Инж. В. А. ШАРШАВИН

МОЩНЫЕ ПЕРЕДАЮЩИЕ РАДИОСТАНЦИИ СССР

ВВЕДЕНИЕ

Первая практическая линия радиосвязи в России была оборудована изобретателем радио А. С. Поповым и его ближайшим помощником П. Н. Рыбкиным для радиосвязи Котки с Гогландом на расстоянии 44 *км*.

С тех пор радиостроители прошли большой и сложный путь по усовершенствованию радиостанций и увеличению их радиуса действия. У нас в стране строительство радиостанций получило наибольший размах после Великой Октябрьской социалистической революции.

В 1918 г. по указанию В. И. Ленина в Нижнем Новгороде была создана первая радиолаборатория. Эта лаборатория разработала и внедрила в производство радиолампы, позволившие построить мощные ламповые радиостанции. Так в 1922 г. по заданию Ленина Нижегородская радиолаборатория построила в Москве длинноволновую радиовещательную станцию им. Коминтерна мощностью 12 *квт*. Это была первая по мощности ламповая станция не только в Европе, но и во всём мире.

Первая радиотелеграфная коротковолновая линия связи Москва — Ташкент была оборудована этой лабораторией в 1924—1926 годах. В 1927 г. вступила в строй новая мощная 35 ÷ 40-киловаттная радиовещательная станция им. Коминтерна в Москве.

В 1924—1927 гг. Научно-испытательный институт связи Красной Армии построил длинноволновую радиостанцию им. А. С. Попова мощностью 1,2 *квт*, впоследствии умощнённую до 20 *квт*. В разработке, постройке и пуске её в

эксплоатацию непосредственное участие принимали: А. Л. Минц, И. Г. Кляцкин, Н. И. Оганов, М. И. Басалаев, В. Д. Селивохин, П. П. Иванов и др.

Создание производственной базы мощного радиостроения относится к 1927 г., когда на Техническом совете Наркомтяжпрома тов. Г. К. Орджоникидзе поставил вопрос о создании радиопромышленности для строительства мощных радиостанций. Такая база была создана в виде бюро мощного радиостроения при Электротехническом тресте заводов слабого тока Наркомтяжпрома, которое фактически и возглавило мощное радиостроение в СССР, используя производство ленинградских заводов им. Казицкого и им. Коминтерна. В бюро вошли: А. Л. Минц, П. П. Иванов, В. Д. Селивохин, М. И. Шавыкин, З. И. Модель, Н. И. Оганов, А. В. Парфанович и ряд других специалистов.

Мощность советских вещательных радиостанций отечественного производства осваивалась следующим образом: 1922 г.—12 *квт*, 1926 г.—20 *квт*, 1927 г.—35 ÷ 40 *квт*, 1929 г.— 100 *квт* (радиостанция им. ВЦСПС в Москве), 1933 г.— 500 *квт* (радиостанция им. Коминтерна в Москве).

В 1938—1939 гг. построена и пущена в эксплоатацию серия мощных длинноволновых и коротковолновых станций для Дальнего Востока, Сибири, Средней Азии.

В 1938 г. вступила в эксплоатацию мощная коротковолновая 120-киловаттная радиовещательная станция, поставившая СССР в то время на первое место в мире и по этому типу радиостанций.

В период с 1940 по 1943 г. введены в эксплоатацию мощные коротковолновые радиоцентры для основных магистралей Союза.

И, наконец, в 1943 г. сдана в эксплоатацию сверхмощная радиовещательная станция длинных и средних волн, являющаяся мировым гигантом радиостроения.

С момента постройки в 1922 г. ламповой радиостанции Советский Союз держит мировое первенство по мощным передающим вещательным радиостанциям.

ПОСТРОЕНИЕ СХЕМ ПЕРЕДАЮЩИХ РАДИОСТАНЦИЙ

Современная передающая радиостанция представляет собой технический комплекс, включающий не только радиотехническую часть, но и ряд сложных подсобных соору-

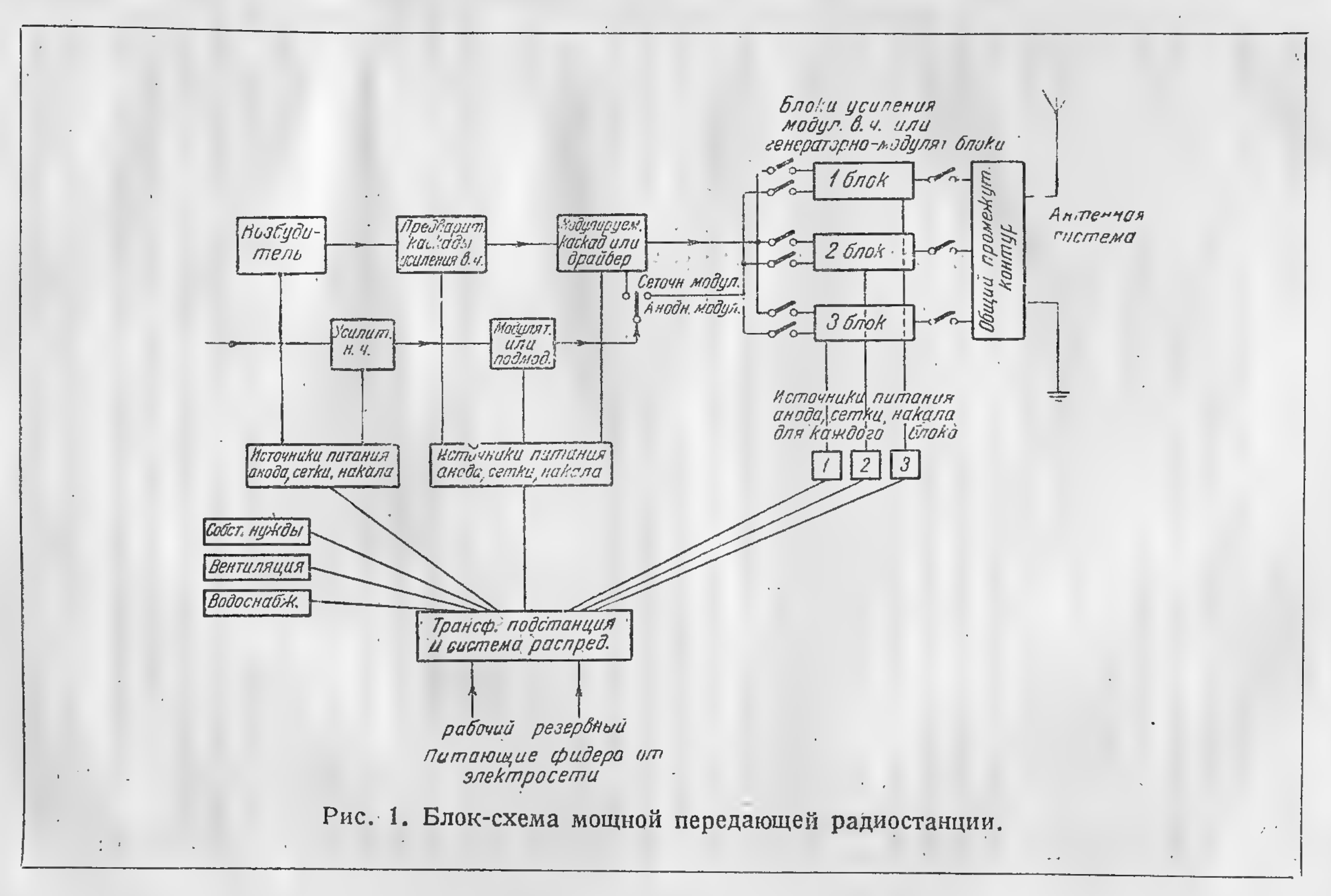


Рис. 1. Блок-схема мощной передающей радиостанции.

жений, необходимых для нормальной работы радиотехнического оборудования.

Достаточно указать, что для размещения одной из мощных радиовещательных станций потребовались площадка под антенное поле размером около 120 *га* и техническое здание для размещения оборудования объёмом около 50 000 *куб. м.*

Сооружение мощных передающих радиостанций выдвинуло ряд проблем в чисто строительном деле: потребовалось сооружение радиомачт высотой до 200÷250 *м,* строительство технических помещений, устойчивых против самовозгорания от высокой частоты, осуществление специальной экранировки помещений под штукатуркой, разработка системы повышенной вентиляции, воздухоохлаждения и т. п.

Основными элементами мощной передающей радиостанции независимо от того, на каких волнах она работает, являются (рис. 1):

а) *Антенная система,* состоящая из антенны, радиомачт, системы заземления и элементов настройки антенн.

б) *Система высокой частоты,* состоящая из возбудителя, определяющего основную рабочую частоту радиостанции, ряда каскадов усиления высокой частоты и последнего выходного каскада, определяющего отдаваемую передатчиком мощность. Выходной мощный каскад передатчика обычно строится по системе отдельных блоков, работающих на общий сборный промежуточный контур.

в) *Система усиления низкой частоты,* используемой для управления высокочастотным каналом (для модуляции). Количество каскадов усиления, а также и мощность низкой частоты, необходимая для глубокой и неискажённой модуляции, определяется схемой модуляции, принятой в данном типе передатчика. До 1938 г. у нас в Союзе в основном применялась сеточная модуляция. В настоящее время мощные радиостанции строятся исключительно по схеме анодной модуляции с повышенным коэфициентом полезного действия, как наиболее совершенной и экономичной. Для радиотелеграфных станций тракт низкой частоты обеспечивает необходимую манипуляцию высокой частоты.

г) *Источники питания* анодов, катодов и сеток радиоламп, применяемых в передатчике. Постоянный ток высо-

кого напряжения для питания анодов радиоламп берётся от выпрямителей.

д) *Система вентиляции, водоснабжения и водяного охлаждения* мощных радиоламп, представляющая на современной мощной радиостанции грандиозное сооружение.

е) *Трансформаторная подстанция* с системой распределения и защиты для снабжения радиостанции электроэнергией промышленной частоты.

ж) *Система автоматического управления, блокировки и сигнализации,* являющаяся неотъемлемой частью современной радиостанции и позволяющая обслуживать радиостанцию минимальным штатом. Система управления, блокировки и сигнализации предусматривает дистанционное управление включением и выключением оборудования при принудительной последовательности необходимых операций, позволяет автоматически производить контроль за работой действующего оборудования, а также обеспечивает защиту оборудования и безопасность работы обслуживающего персонала.

Весь этот сложный комплекс, представляющий современную радиостанцию, должен обеспечивать слаженную работу отдельных звеньев и давать необходимые качественные технические показатели.

Радиовещательный передатчик должен равномерно пропускать частоты звукового спектра от 30 до 8000 *гц* с отклонением от средней звуковой частоты 1000 *гц* на 1,0÷1,5 *дб* при коэфициенте нелинейных искажений 2÷3% во время 100-процентной модуляции на частоте 400 *гц* и уровне шумов — 60 *дб.*

Радиотелеграфные станции, качество работы которых оценивается по точности воспроизведения телеграфных импульсов, должны обеспечивать высококачественную работу аппаратов Крида, буквопечатания и фототелеграфа.

Стабильность несущей частоты обоих типов радиостанций должна находиться в пределах 0,01% и стабильность мощности в антенне или в фидере в пределах 5%.

ИЗЛУЧАЮЩАЯ СИСТЕМА МОЩНЫХ РАДИОСТАНЦИЙ

Смодулированная мощность высокой частоты от передатчика поступает непосредственно или через фидерное устройство в антенну и далее излучается в пространство.

Излучение должно производиться таким образом, чтобы максимально концентрировать энергию в зоне уверенного приёма радиостанции и свести к минимуму потери мощности непосредственно в антенном устройстве. Выполнение указанной задачи требует рационального конструирования излучающей системы в целом.

Антенное устройство должно:

а) Иметь изоляцию и ёмкость радиосети, обеспечивающие вмещение всей мощности, подводимой от передатчика. Изоляция антенного устройства должна быть очень высокой. Например, при 100-процентной модуляции, являющейся обязательной для действующих радиостанций, пиковая мощность 500-киловаттной радиостанции доходит до 2000 *квт*, что при обычных антеннах даёт на конце сети напряжение порядка 70 000÷80 000 *в*. Для снижения этих напряжений необходимо устраивать сложные сети, имеющие повышенное сопротивление излучения. Подобная сеть не только даёт экономические выгоды, но и имеет лучшие качественные показатели. Повышение затухания сети способствует более равномерному пропусканию спектра частот радиовещательной передачи.

б) Обеспечивать рациональное излучение подводимой к антенне мощности, которое определяется распределением тока вдоль вертикального провода антенны. Правильное распределение тока вдоль вертикального провода антенны особенно важно для излучающих систем средневолнового диапазона, где высота антенны определяет зону уверенного приёма радиостанции. Конструктивно антенна в этом случае выполняется так, чтобы максимальное излучение её лежало в пределах углов до 10 градусов над горизонтом, а электрическая высота антенны была в пределах от 0,5 до 0,6 длины волны.

в) Давать направленное излучение энергии для искусственного увеличения зоны уверенного приёма в направлениях, определяемых конфигурацией территории, обслуживаемой радиостанцией, или направленное излучение на корреспондента в случае радиотелеграфной связи.

г) Иметь минимальные потери мощности, отдаваемой передатчиком (потери на джоулево тепло и излучение в фидерах, в промежуточном контуре, в проводах системы заземления, в проводах антенны, в окружающих антенну предметах — мачты, здания, оттяжки мачт, леерные тро-

сы, кабели освещения), а также диэлектрические потери у основания антенны.

Опыт строительства и эксплоатации мощных радиостанций у нас в Союзе и за границей показал, что антенны для радиовещательного диапазона необходимо выполнять в виде проволочных радиосетей для волн от 800 до 2000 *м* и в виде свободно стоящих башен-антенн или радиомачт на минимальном количестве оттяжек (высотой до 0,5 длины волны) для антенн на волны от 200 до 800 *м*.

Поэтому для мощных радиостанций на диапазон волн от 800 до 2000 *м* в Союзе ССР приняты проволочные Т-образные антенны, подвешиваемые на двух или более металлических мачтах с изолированными основаниями.

Например, антенна мощной 500-киловаттной радиостанции представляет сложную проволочную сеть, подвешенную на четырёх 200-метровых стальных мачтах с изолированными основаниями и секционированными оттяжками. Расстояние между мачтами равно 300 *м*. Горизонтальная часть антенны выполнена в виде трёх полотен длиной 290 *м*, соединённых между собой перемычками. Вертикальной частью антенны являются три снижения (для каждого пролёта), имеющие свои элементы настройки. Горизонтальные полотна образованы шестью канатиками, расположенными на расстоянии 2 *м* друг от друга. Три такие же канатика, постепенно сходящиеся в жгут, образуют вертикальное снижение.

Заземление сети выполнено в отдельности для каждого вертикального снижения в виде 120 радиально расходящихся проводов длиной около половины рабочей волны.

Такая сеть имеет собственную длину волны порядка 2000 *м*, статическую ёмкость порядка 11 000 *см* и напряжение на конце сети при полной модуляции около 55 000 *в*. Сопротивление излучения сети в зависимости от длины волны колеблется в пределах от 70 до 150 *ом*. Излучение сети имеет некоторую направленность по перпендикуляру к линии, соединяющей мачты.

Сооружение радиосети на столь большую мощность было впервые осуществлено в СССР. Теоретический расчёт радиосети и её экспериментальная проверка проведены в лаборатории Наркомата электропромышленности, строительство выполнено трестом «Радиострой».

Для средневолнового диапазона сооружаются мачты-ан-

тенны трёх разновидностей на диапазон волн от 200 до 800 *м*.

Первой разновидностью являются свободно стоящие башни-антенны на изолированном основании. На одной из мощных средневолновых радиостанций Союза антенная система для волн 300÷360 *м* выполнена из четырёх свободно стоящих башен-антенн с изолированными основаниями высотой 150 *м*, расположенных по углам четырёхугольника со стороной 75 *м*. Две из башен-антенн служат активными излучателями, две пассивными рефлекторами, что позволяет получить направленную диаграмму излучения. Каждая мачта представляет собой пространственную решётчатую трёхгранную конструкцию.

Заземление выполнено в виде 120 радиально расходящихся проводов диаметром 4 *мм*, заложенных на глубину 0,3 *м*. Концы этих проводов окаймлены медной шиной с 16 заземлителями, находящимися на уровне грунтовых вод. Вокруг каждой башни для улучшения заземления заложена медная сетка в виде шестиугольника со стороной 15 *м*, окаймлённая медной шиной с шестью заземлителями.

Переходное сопротивление подобного заземления не превосходит 1 *ом*.

Антенная система питается концентрическим фидером с волновым сопротивлением 80 *ом*. Фидер доходит до центра расположения четырёх башен-антенн, затем разветвляется на каждую башню-антенну и оканчивается элементами настройки башни. Каждая башня имеет волновое сопротивление порядка 250 *ом*. Входная избыточная ёмкость основания башни-антенны, примерно, равна 1000 *см*.

Отчётные измерения излучающей системы подтвердили её значительные преимущества перед проволочными антеннами. Излучение электроэнергии получается более равномерным, зона уверенного приёма возрастает, использование подводимой к антенне мощности значительно повышается. Система даёт увеличение эквивалентной излучаемой мощности в заданном направлении, доходящее до четырёх. Входное сопротивление антенной системы на оптимальной волне, измеренное на выходе фидера из передатчика, равно 72 *ом*.

Второй разновидностью мачт-антенн на средневолновый диапазон являются мачты-антенны на изолированном ос-



Рис. 2. Мачта-антенна на оттяжках (предложена М. А. Шкудом).

новании с минимальным количеством изолированных оттяжек.

На рис. 2 показана подобная мачта-антенна высотой 120 *м*, построенная для средневолновой радиовещательной станции в одном из северных районов Советского Союза. Для расширения диапазона на верху мачты имеется проволочная шапка радиусом 36 *м*. Питание антенны осуществляется по концентрическому фидеру с волновым сопротив-

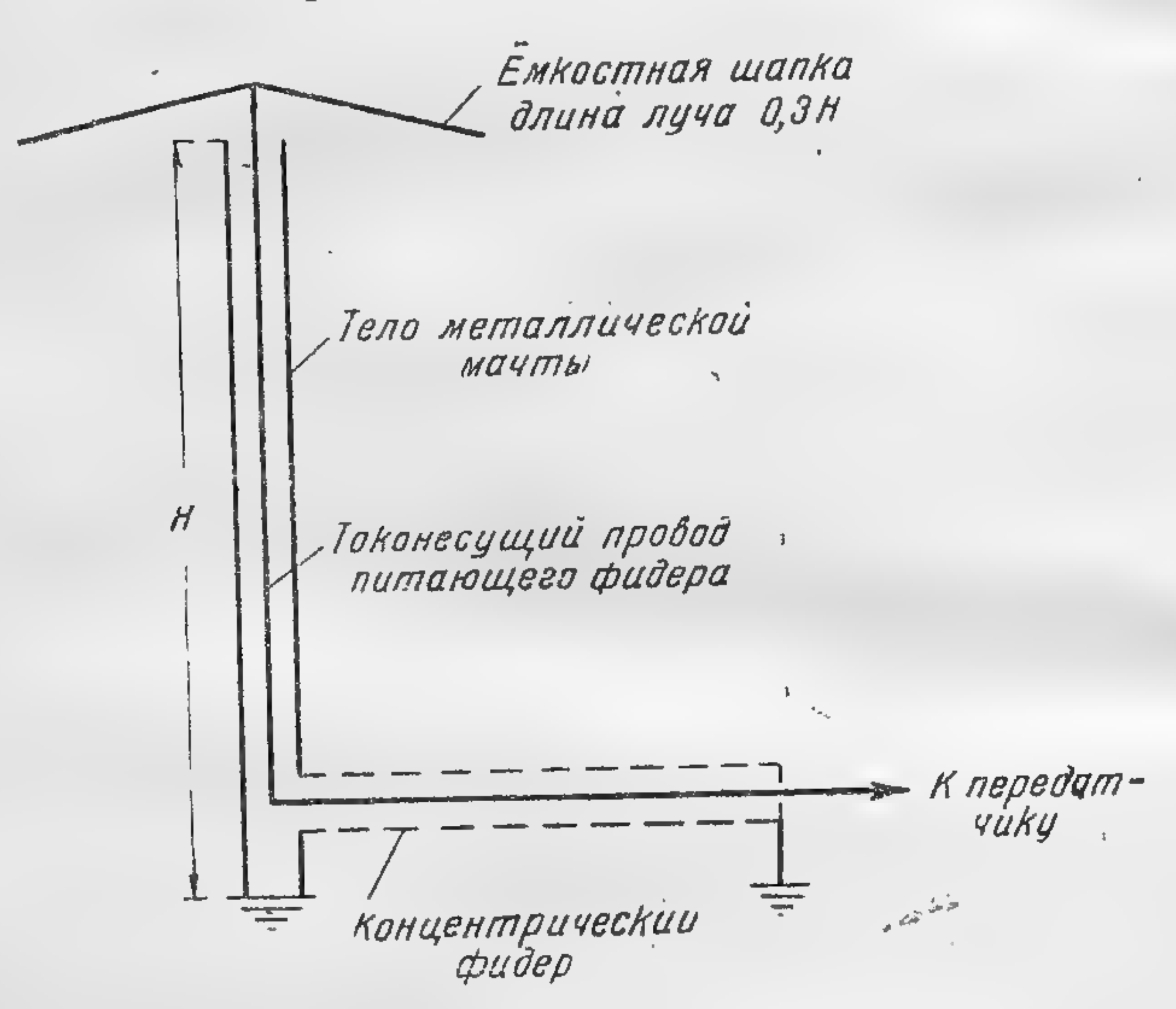


Рис. 3. Схема мачты-антенны с верхним питанием (предложена Г. З. Айзенбергом).

лением 100 *ом*, длиной 250 *м*. Заземление радиальное из 120 лучей проволоки диаметром 4 *мм*.

Диапазон волн антенны от 200 до 800 *м*, входное сопротивление по диапазону колеблется от 15 до 50 *ом*. Коэфициент полезного действия равен 0,8÷0,92. Излучение в горизонтальной плоскости направленности не имеет.

К третьей разновидности мачт-антенн относится мачта-антенна с заземлённым основанием и верхним питанием по системе Г. З. Айзенберга. Питание антенны сверху (рис. 3) избавляет от необходимости изолировать основания мачт, что является делом сложным и требует специальных опорных изоляторов на большие нагрузочные усилия.

Антенна подобной конструкции на диапазон волн от 200 до 800 *м*, оборудованная на одной из радиовещательных станций, восстановленных после немецкой оккупации, использует мачты высотой 120 *м*.

Мачта выполнена из цельнотянутой металлической трубы диаметром, приблизительно, 400 *мм*. Волновое сопротивление мачты равно 320 *ом*. Активное входное сопротивление в начале питающего фидера колеблется от 15 до 60 *ом* при волновом сопротивлении питающего фидера 130 *ом*. Система заземления выполнена в виде проводов длиной в половину рабочей длины волны, радиально расходящихся через 3°.

Для коротковолнового диапазона обычно используются диапазонные ромбические антенны или настроенные синфазные антенные устройства. На рис. 4 показана коротковолновая антенна, используемая на одном из радиоцентров для связи с Америкой. Антенна выполнена в виде двух полотен, подвешенных на двух свободно стоящих металлических башнях (высота 75 *м*, расстояние между мачтами 130 *м*). Каждое полотно состоит из 32 полуволновых вибраторов из провода диаметром 6 *мм*, расположенных в четыре этажа по 8 вибраторов в этаже. Полотно антенны выполнено на специальных пирофилитовых цилиндрических изоляторах длиной 30 *см*, обладающих чрезвычайно низкими потерями при высокой частоте и имеющих малую ёмкость между армированными концами. Одно из полотен служит рефлектором, другое — директором. Излучаемая такой антенной энергия сконцентрирована в телесном угле, не превышающем 10÷12°, и направлена под углом к горизонту в 10°.

Совершенно оригинальной является конструкция коротковолновой направленной антенны с низким волновым сопротивлением вибраторов, предложенная А. Л. Минцем для построенной в 1938 г. мощной коротковолновой вещательной радиостанции на 120 *квт* в антенне. Общий вид антенн этой станции показан на рис. 5. Каждая антенна выполнена в виде двух полуантенн из металлических полых цилиндрических вибраторов в половину длины волны. Вибраторы закреплены на двух металлических мачтах с помощью изоляторов, расположенных на специальных площадках. На тех же мачтах каждая полуантенна имеет рефлектор. Питание вибраторов и полуантенн в целом осу-

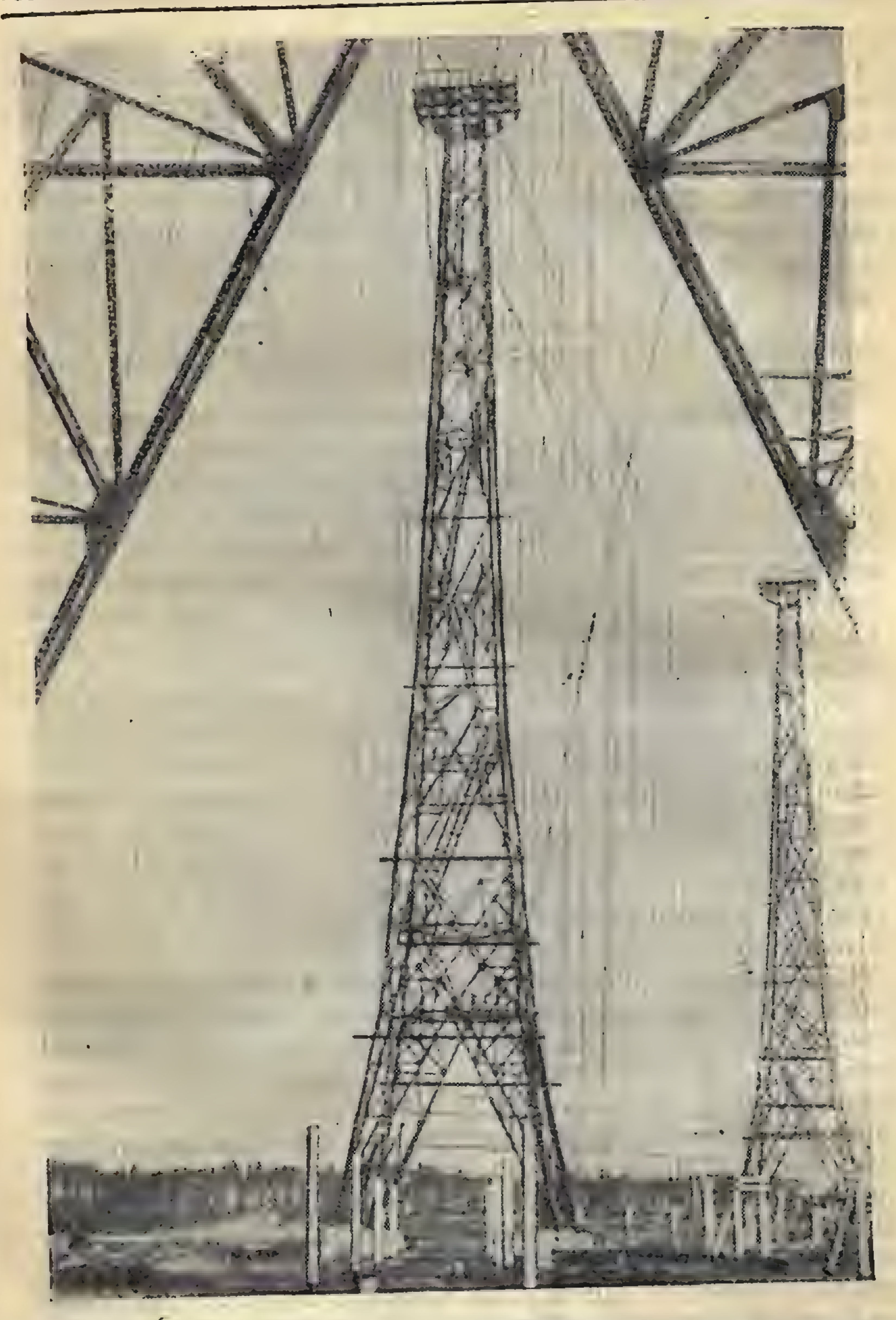


Рис. 4. Коротковолновая антенна, используемая для связи с Америкой.

ществляется по фидеру с малым волновым сопротивлением. Фидер помещён в специальный металлический короб, являющийся экраном.

Мощность, излучаемая описываемой антенной, концентрируется в горизонтальной плоскости в пределах 30°, причём имеется возможность менять направленность излучения на ±15°. Для контроля за направленностью излучения впереди каждой антенны установлены специальные индикаторы, позволяющие дежурному персоналу контролиро-

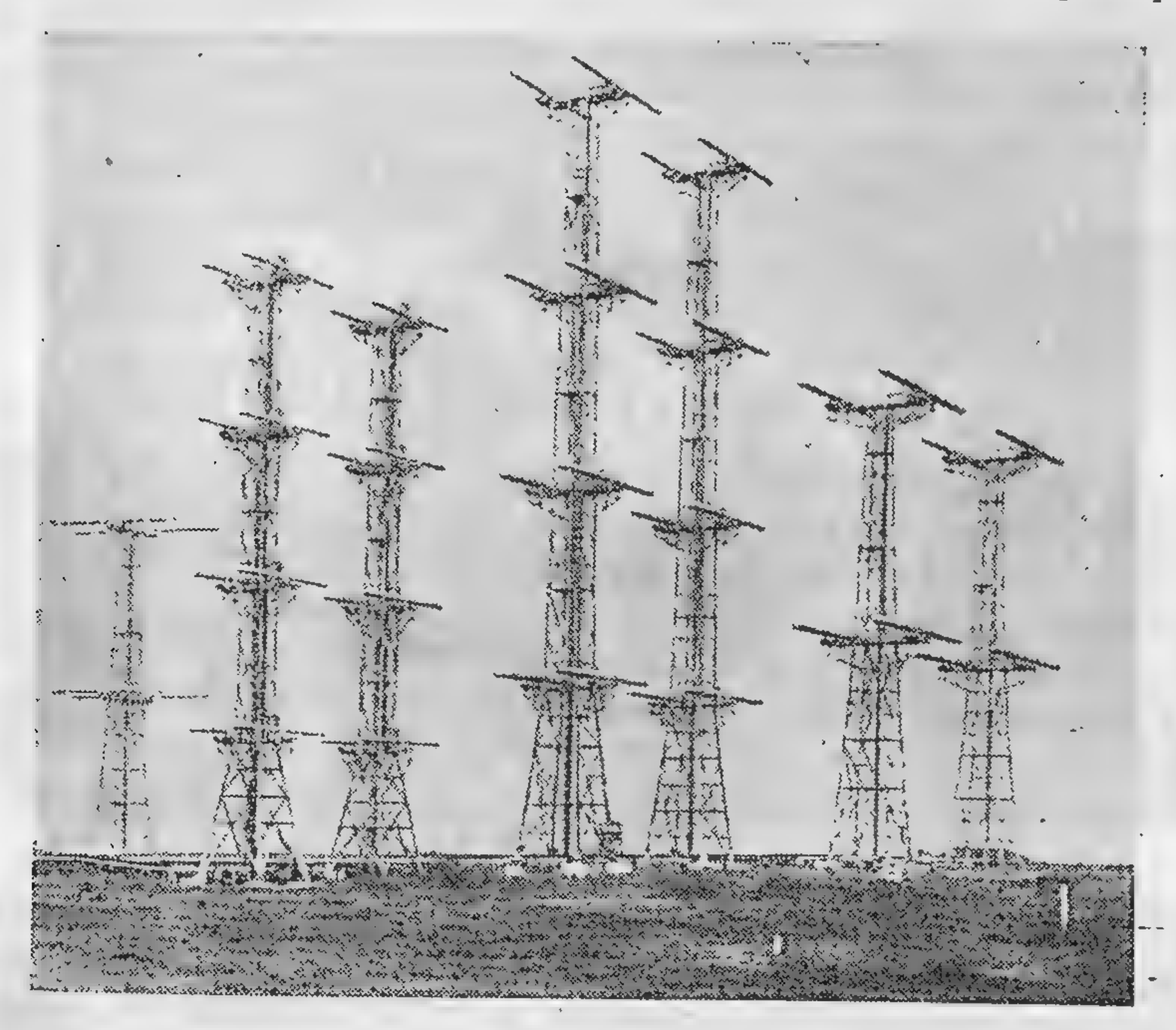


Рис. 5. Коротковолновая направленная антенна (предложена А. Л. Минцем).

вать на пульте управления как излучаемую мощность, так и направление излучения.

Конструкция антенны обеспечивает вмещение пиковой мощности, доходящей при 100-процентной модуляции до 480 *квт*, без каких бы то ни было факельных истечений и пробоев, часто наблюдаемых на обычных проволочных антеннах.

Наряду с совершенствованием антенных устройств совершенствовались и конструкции радиомачт. Недолговечные деревянные мачты, чрезвычайно несовершенной конструкции, уступили место металлическим мачтам, которые одновременно начали выполнять и функции вибраторов. Значительно упростились и облегчились конструкции мачт. Если раньше вес тела мачты высотой 200 *м* составлял, примерно, 120 *т*, то в настоящее время башня-антенна, свободно стоящая на изоляторах, весит 80÷90 *т*, а трубчатая мачта трёхгранной конструкции той же высоты всего лишь 50÷60 *т*. Наши основные конструкторы радиомачт Г. В. Шулейкин, Г. А. Савицкий, А. Г. Соколов и другие непрерывно и плодотворно работают над их усовершенствованием. В частности, разработанные в СССР пространственные трубчатые трёхгранные конструкции свободно стоящих радиобашен и радиомачт на оттяжках являются лучшими образцами современной мировой техники мачтостроения.

ВЫХОДНЫЕ МОЩНЫЕ КАСКАДЫ

Получение больших мощностей в выходных каскадах радиопередатчиков сопряжено с рядом технических и конструктивных трудностей. Основные трудности объясняются невозможностью получить большую мощность в одной ламповой единице и сложностью выполнения контурных систем на большие реактивные мощности. Необходимость обеспечить устойчивую бесперебойную работу радиостанции при аварии или выходе из строя мощных радиоламп создаёт дополнительные затруднения.

Использование в выходных каскадах большого количества маломощных, параллельно включённых радиоламп делает невозможным получение больших мощностей на коротких волнах, а на средних и длинных волнах затрудняет нейтрализацию каскада.

Наиболее правильным и оправдавшим себя методом получения больших мощностей в радиотехнике оказался метод параллельной работы нескольких генераторов на общую нагрузку. В этом случае несколько генераторов или, как их принято называть, блоков, работают на общую нагрузку в виде общего промежуточного контура, связанного с антенной. Система блоков позволяет получить любую мощность выходного каскада при применении ламп сред-

ней мощности. Конструирование блока упрощается, а устойчивость его работы значительно увеличивается. Наконец, весьма просто осуществляется резервирование, так как при наличии одного резервного блока фактически создаётся радиостанция непрерывного действия; замена одного блока другим не требует остановки радиостанции и не сопровождается значительным снижением мощности. Об-

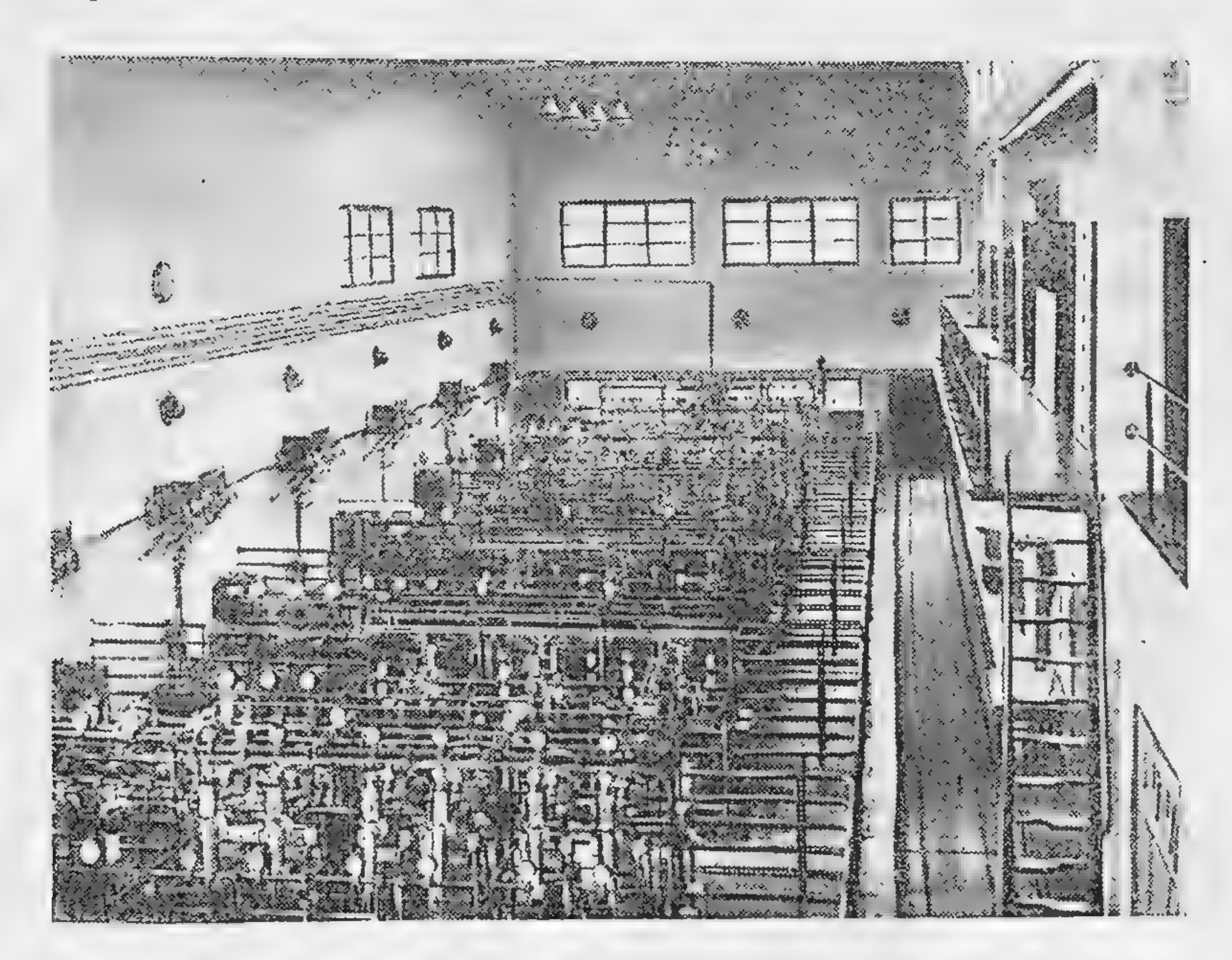


Рис. 6. Общий вид зала высокой частоты одной из радиостанций.

щий вид зала высокой частоты одной из радиостанций, построенных по блоковой системе, показан на рис. 6.

Впервые блоковая система построения мощного каскада была предложена у нас в Союзе *А. Л. Минцем* и осуществлена строителями 500-киловаттной радиостанции, введённой в эксплоатацию 1 мая 1933 года.

На рис. 7 дана схема выходных каскадов 500-киловаттной радиостанции (сеточная модуляция), а на рис. 8 аналогичная схема для мощной средневолновой радиостанции с повышенным коэфициентом полезного действия (анод-

ная модуляция). В качестве основных радиоламп блоков мощного каскада используются 100-киловаттные лампы типа Г-433, включённые по двухтактной схеме по две параллельных лампы в плече.

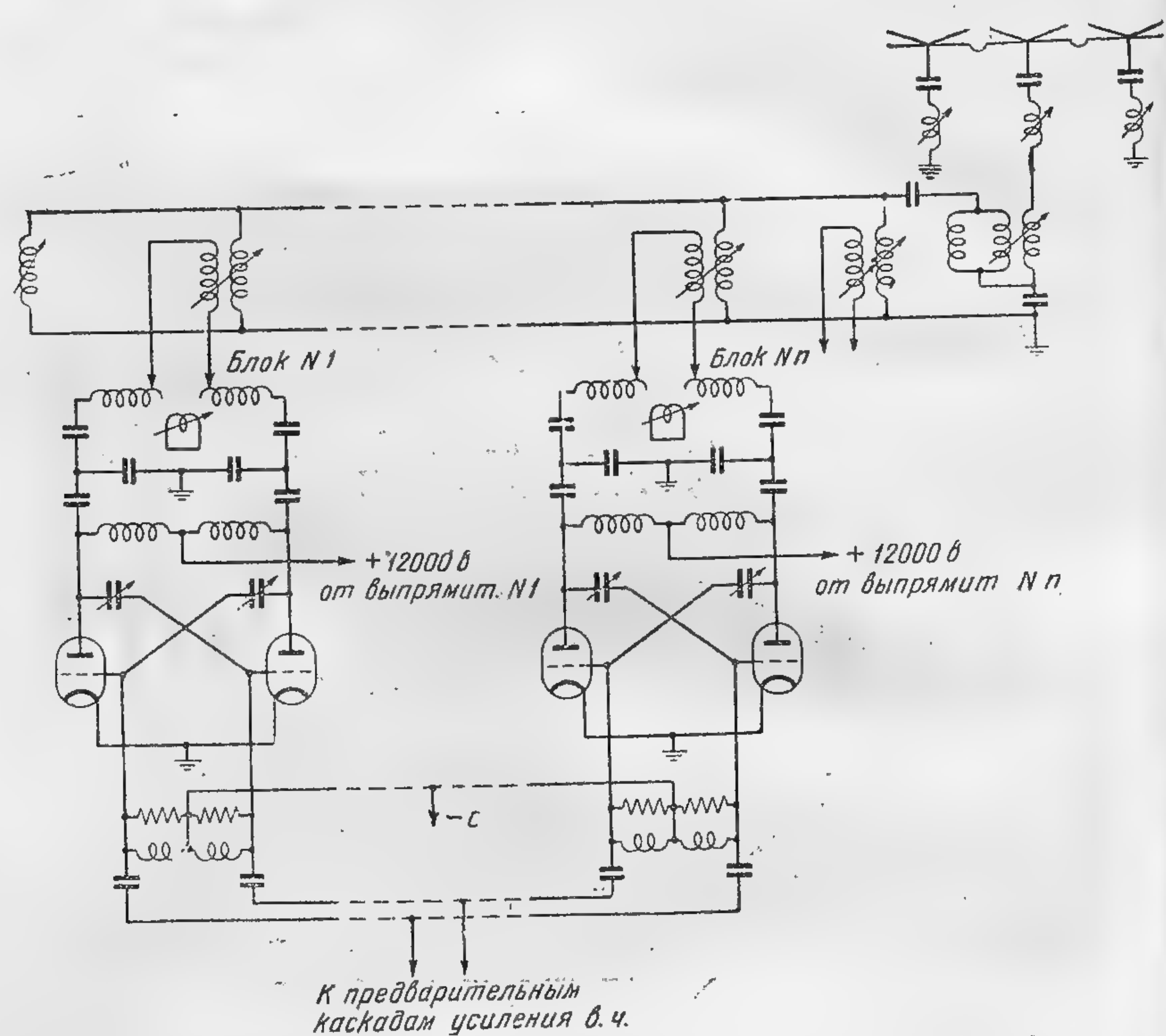


Рис. 7. Схема выходных каскадов 500-киловаттной радиостанции.

Блоки 500-киловаттной радиостанции, работающей на сеточной модуляции, представляют собой мощные каскады усиления модулированных колебаний. Для средневолновой радиостанции используются генераторно-модуляторные блоки, являющиеся полностью законченными единицами.

Во избежание взаимных влияний одного блока на другой для каждого блока применены экранированные кабины. Связь между блоковым анодным контуром и общим промежуточным сборным контуром взята индуктивной, что

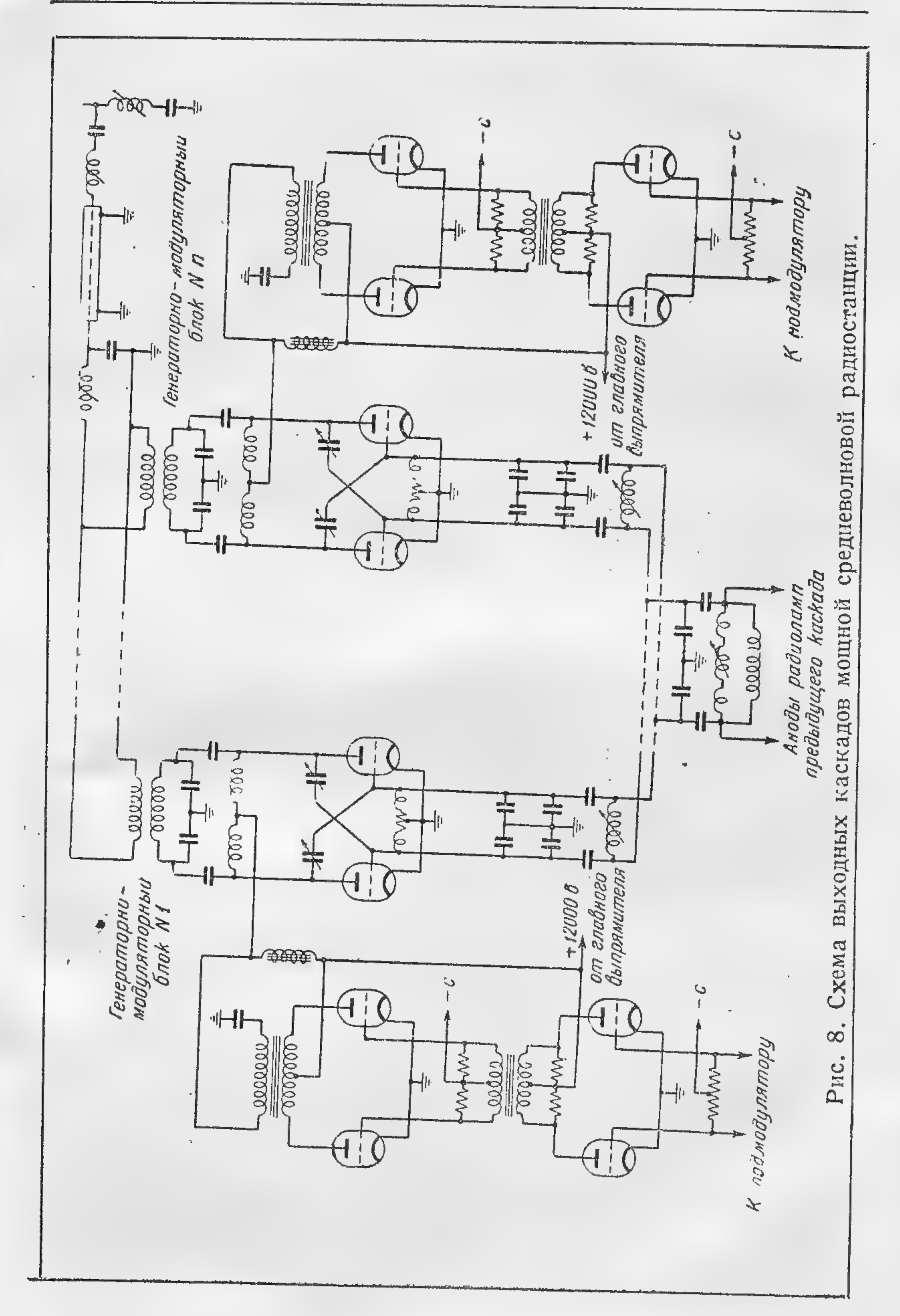


Рис. 8. Схема выходных каскадов мощной средневолновой радиостанции.

позволяет удобно регулировать связь и обеспечивает быстрое отключение и включение блоков во время работы радиостанции при помощи специальных автоматических устройств. Общий промежуточный контур связан с блоковыми анодными контурами и непосредственно с антенной или питающим антенну фидером. Включение блоковых анодных контуров в общий промежуточный контур производится по параллельной или последовательной схеме. Контур следует рассчитать таким образом, чтобы выключение и включение одного из блоков во время работы радиостанции изменяло настройку основного промежуточного контура лишь в незначительной степени. С этой точки зрения предпочтительна параллельная схема включения блоковых контуров.

Общий промежуточный контур должен быть выполнен особенно тщательно и экранирован от блоковых анодных контуров. Поэтому его обычно располагают в отдельном экранированном помещении. Конструктивно контур выполняется с минимальными активными потерями. Обычно активное сопротивление потерь в промежуточном контуре не превышает 0,3÷0,5 *ом*. Ёмкость контура выполняется из воздушных конденсаторов с повышенным давлением воздуха в баллоне.

Связь общего промежуточного контура с антенной или фидером в большинстве случаев даже на длинноволновых станциях берётся ёмкостной для обеспечения международных норм по фильтрации излучаемых гармоник. Особую роль в подавлении паразитных излучений играет фидерное питание антенн. При питании излучающей системы с помощью фидера со специальным фильтром удалось снизить на мощной средневолновой радиостанции паразитное излучение в несколько раз против международных норм.

Для получения больших мощностей на коротких волнах используется метод сложения мощностей в эфире, предложенный И. Х. Невяжским. Построенная в 1938 г. по этой схеме мощная 120-киловаттная вещательная радиостанция имеет два блока, работающих на две самостоятельные направленные полуантенны. Эффект, создаваемый в месте приёма от двух полуантенн с излучаемой мощностью по 60 *квт*, равен эффекту, создаваемому суммарной мощностью 120 *квт*.

ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ КАСКАДЫ

Возбуждение мощных каскадов передатчика производится промежуточными каскадами, обеспечивающими повышение мощности от нескольких ватт до десятков киловатт. В зависимости от выходной мощности передатчика количество промежуточных каскадов колеблется от четырёх до шести. Маломощные каскады выполняются на многосеточных лампах, а более мощные на трёхэлектродных лампах с естественным или водяным охлаждением анода.

Если передатчик имеет сеточную модуляцию, то один из каскадов промежуточной частоты (обычно четвёртый) является модулируемым каскадом. Все последующие за ним каскады, в том числе и мощный выходной каскад, производят усиление модулированной мощности высокой частоты. В этом случае от каскадов радиовещательных передатчиков требуется равномерное пропускание всех модулирующих частот. Такая равномерность обеспечивается применением двухконтурной системы при сильной связи, а также применением контуров с повышенным декрементом затухания. Для получения устойчивой работы промежуточных каскадов и для борьбы с паразитными колебаниями сеточная цепь этих каскадов выполняется таким образом, чтобы все паразитные ёмкости сеточного монтажа являлись составной частью сеточного контура.

Промежуточные каскады передатчиков с анодной модуляцией строятся по обычным схемам, но для обеспечения устойчивой работы ставятся в перенапряжённый телеграфный режим.

Усилители низкой частоты для сеточной и анодной модуляции отличаются только выходными мощностями.

ВОЗБУДИТЕЛЬ

Высокая стабильность частоты (длины волны) современных передатчиков достигается применением специальных генераторов.

В качестве таких высокостабильных генераторов для большинства мощных радиостанций используются кварцевые возбудители, обеспечивающие стабильность частоты порядка 10^{-5}. Это значит, что, например, при рабочей частоте радиостанции в 20 000 000 *гц* отклонение частоты

составит 200 *гц*. Для средневолновой радиостанции, работающей на волне 300 *м* (частота 1 000 000 *гц*), отклонение частоты не превосходит 10 *гц*.

Для получения наибольшей стабильности работы радиостанции по частоте приходится принимать дополнительные меры по стабилизации температурных условий и электрического режима работы возбудителя. Кварцевая пластинка берётся с косым срезом, при котором изменение внешней температуры сказывается в минимальной степени; сам кварцевый возбудитель помещается в термостат с постоянством температуры ± 0,5°Ц, детали возбудителя изготовляются из специальных материалов с малым температурным коэфициентом. В цепи питания включаются специальные стабилизирующие устройства. Питание кварцевого возбудителя производится независимо от питания самого передатчика. Чтобы исключить время установления нормального температурного режима, кварцевые возбудители обычно не выключаются во время остановки радиостанции.

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ МОЩНЫХ РАДИОЛАМП

Основными источниками питания в мощных передатчиках являются выпрямители, используемые для получения анодных и сеточных напряжений постоянного тока. Цепи накала мощных радиоламп питаются или от машин постоянного тока (рис. 9) или через специальные трансформаторы от сети переменного тока промышленной частоты. Машины постепенно выходят из употребления, так как трансформаторы обеспечивают те же качественные показатели при меньших затратах на сооружение и при значительно более простом уходе за ними в эксплоатации.

В качестве выпрямительных устройств для получения сеточных напряжений постоянного тока используются купроксы, тунгары или маломощные газотроны; для получения анодных напряжений применяются мощные газотронные или металлические ртутные высоковольтные выпрямители.

Например, для питания каждого блока 500-киловаттной радиостанции установлены газотронные выпрямители на напряжение 12 000 *в*, мощностью постоянного тока до 450÷500 *квт*. Анодный трансформатор этих выпрямителей

питается напряжением 6600 *в* промышленной частоты непосредственно от распределительных шин радиостанции. Сглаживание пульсаций выпрямленного напряжения производится специальным фильтром, частота которого во избежание демодуляции берётся ниже наинизшей пропускаемой частоты звукового спектра.

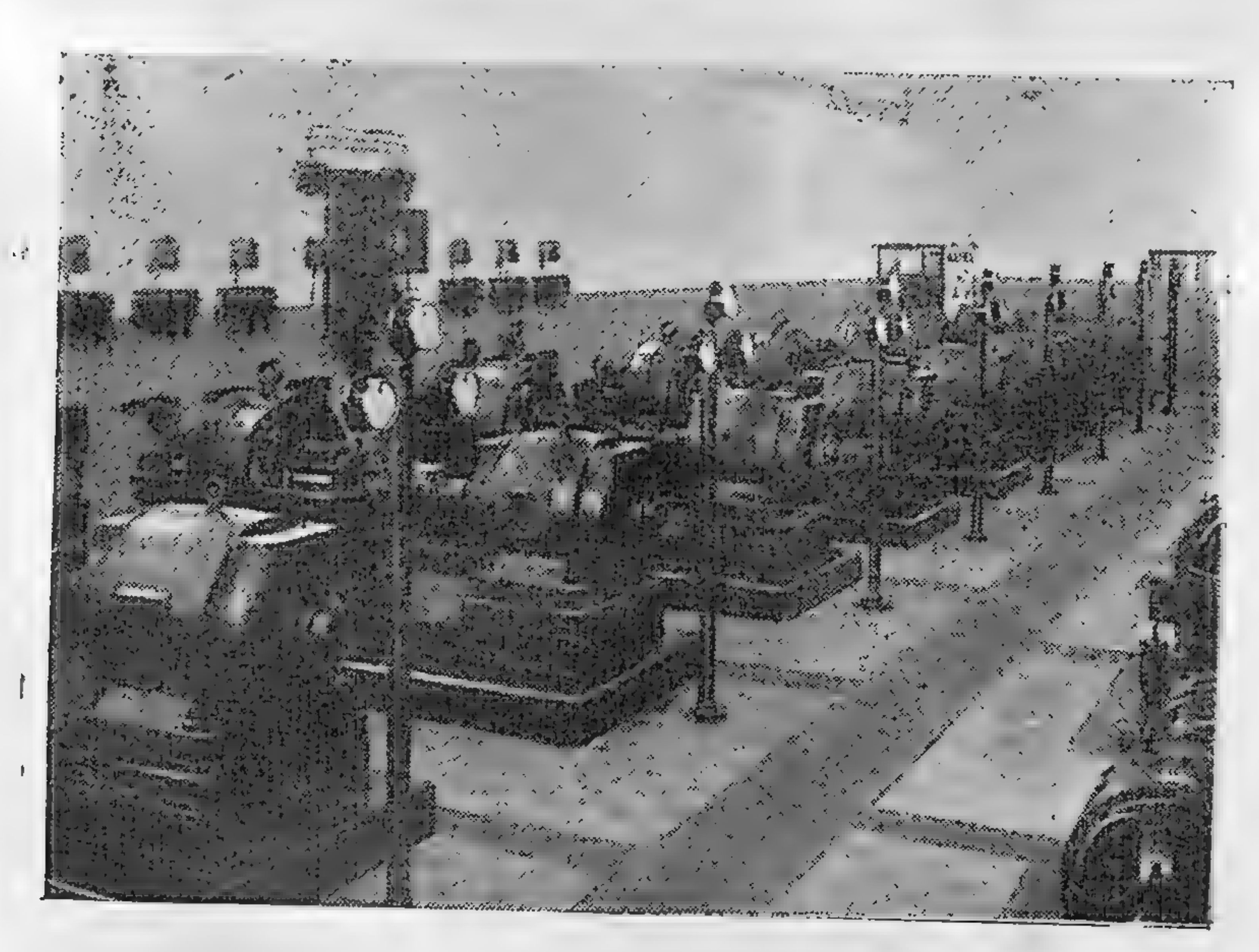


Рис. 9. Машины накала для радиоламп мощной радиостанции.

На ряде радиостанций установлены мощные высоковольтные ртутные металлические выпрямители. На рис. 10 показан такой выпрямитель на мощность порядка 1000 *квт* и на напряжение 12 000 *в*. Выпрямитель снабжён специальными вакуумным и форвакуумным насосами для поддержания необходимого вакуума в баллоне ртутного выпрямителя, а также контрольными приборами, обеспечивающими повседневный контроль за состоянием вакуума, температуры воды, охлаждающей баллон выпрямителя, и аппаратурой защиты его во время перегрузок и обратных зажиганий. Кроме того, ртутный металлический выпрямитель имеет аппаратуру повторного включения и регули-

рования выпрямленного напряжения как вручную, так и автоматически, что также повышает устойчивость работы и удобство эксплоатационного обслуживания.

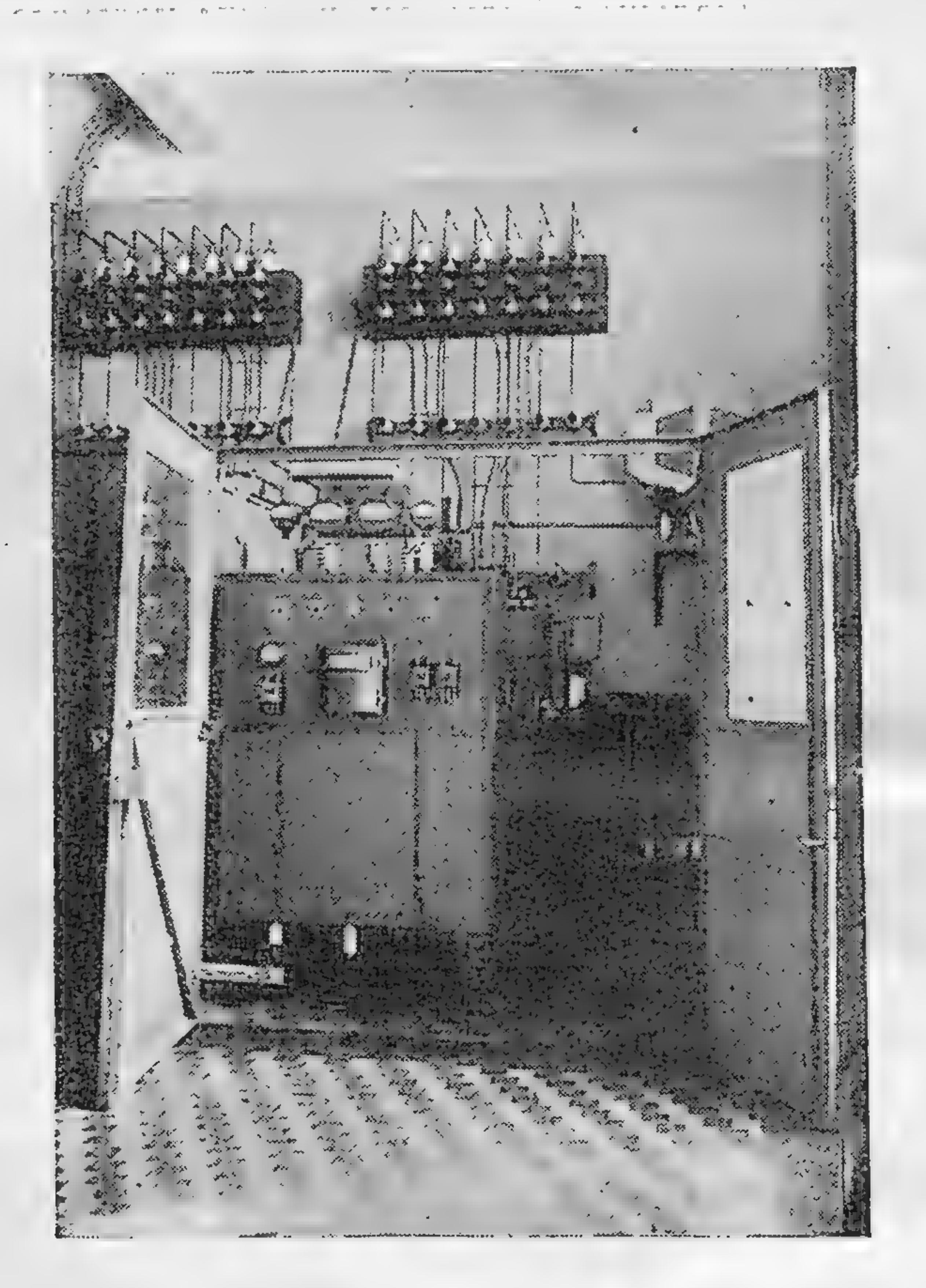


Рис. 10. Мощный металлический ртутный высоковольтный выпрямитель.

Этот выпрямитель разработан В. П. Вологдиным и М. А. Спицыным при ближайшем участии их сотрудников И. М. Кантора, И. Д. Войчинского и др.

СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ МОЩНЫХ РАДИОЛАМП

Количество воды, необходимое для охлаждения анодов мощных радиоламп, зависит от мощности и типов применяемых ламп. Нормально на аноды ламп каждую минуту должно поступать от 1 до 1,5 *л* воды на киловатт рассеиваемой на аноде мощности.

На мощных радиостанциях количество охлаждающей воды исчисляется тысячами литров в минуту, что требует создания специальных систем охлаждения радиоламп с

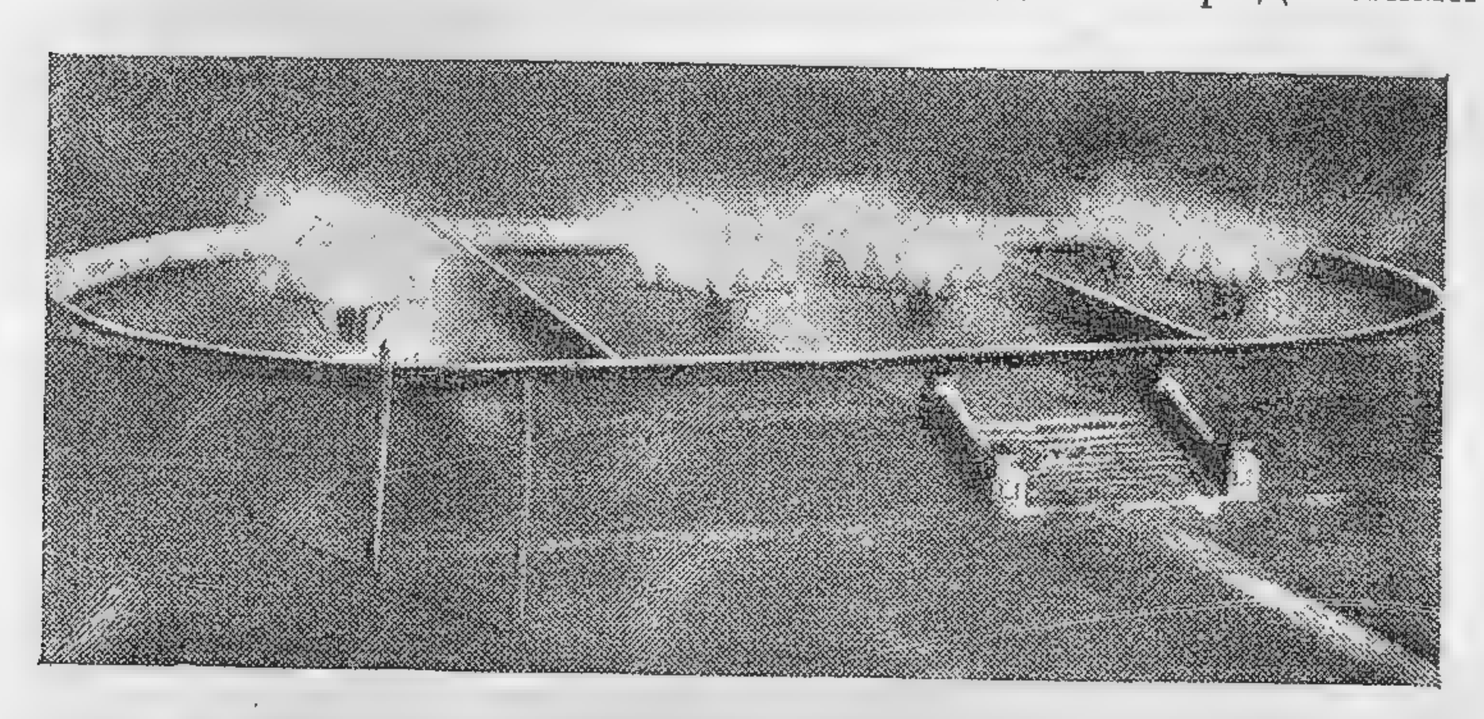


Рис. 11. Бассейн охлаждения радиоламп мощной радиостанции.

развитой сетью трубопроводов, установкой мощных центробежных насосов и т. п. Так на одной из мощных радиостанций отводимое водой тепло составляет около одного миллиона калорий в час при расходе воды 2500 *л* в минуту.

Охлаждающая система мощной радиостанции состоит из двух колец: одно кольцо — внутреннее — служит для снятия рассеиваемой на анодах ламп мощности, второе кольцо — внешнее — для охлаждения воды внутреннего кольца в специальных устройствах — охладителях. Тепло отводится в окружающее пространство с помощью системы брызгал в наружном охладительном бассейне, общий вид которого представлен на рис. 11. Двойная система охлаждения предохраняет рубашки ламп от загрязнения и от накипи, образующейся на анодах ламп в результате электролиза. Внутреннее кольцо делается замкнутым, из того же металла, что и аноды ламп, и наполняется дестиллированной водой.

СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ РАДИОСТАНЦИИ

Электропитание радиостанций производится от районных электростанций по двум фидерам, один из которых рабочий и второй — резервный. Получаемая по фидерам электроэнергия промышленной частоты поступает в распределительное устройство трансформаторной подстанции. Основными потребителями энергии являются: анодные

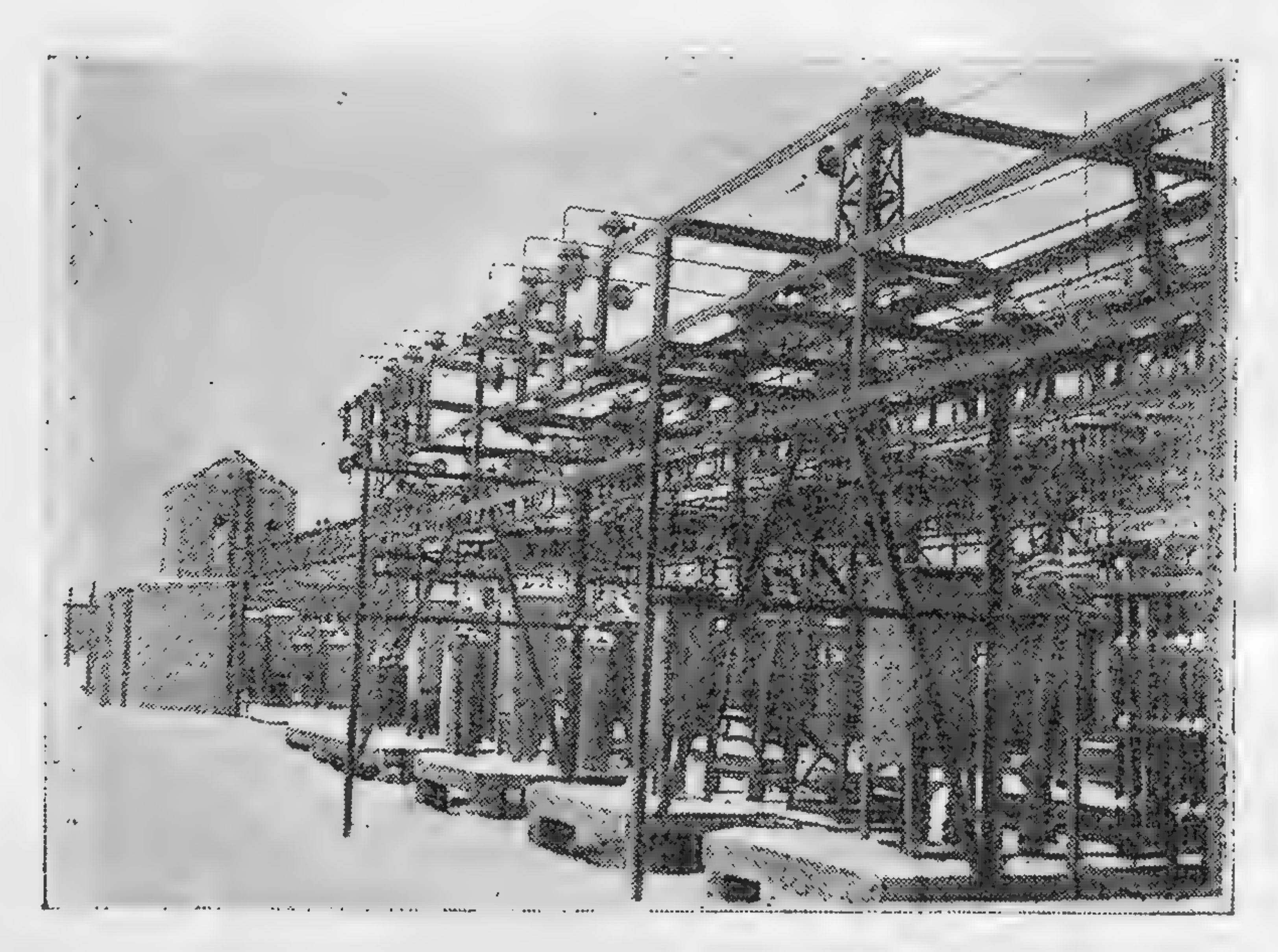


Рис. 12. Трансформаторная подстанция радиостанции.

трансформаторы мощных блоковых выпрямителей, анодные трансформаторы маломощных выпрямителей, силовой трансформатор для потребителей низкого напряжения и трансформатор для собственных нужд радиостанции (освещение и вентиляция помещений и т. п.). Силовые потребители питаются непосредственно от высокого напряжения в 6600 *в* и снабжены защитной и измерительной аппаратурой, а также аппаратурой для дистанционного управления.

Силовой трансформатор низкого напряжения (380/220 *в*) питает накальные трансформаторы или машины, насосы

водоохладительной системы, накальные цепи предварительных каскадов передатчика, маломощные выпрямители, вспомогательные технические устройства и т. п.

Управление всем силовым хозяйством радиостанции сосредоточивается на общем силовом щите, обычно располагаемом в машинном зале.

Трансформаторная подстанция и распределительное устройство переменного тока располагаются или в специальном помещении при главном техническом здании или на открытом воздухе, как это показано на рис. 12.

Установочная мощность трансформаторов колеблется в зависимости от мощности радиостанций от 1000 *ква* до 15 000 *ква*. Коэфициент мощности радиостанций лежит в пределах от 0,8 до 0,9.

АВТОМАТИКА РАДИОСТАНЦИИ

Управление сложным и разнообразным техническим комплексом мощных передающих радиостанций не мыслимо без автоматических средств управления.

Система автоматического управления предусматривает: дистанционное включение и выключение оборудования, защитную блокировку, сигнализацию и контроль за работой действующего оборудования.

Блокировка обеспечивает правильную последовательность операций включения передатчика. Благодаря этой системе неправильное включение оборудования становится невозможным.

При блоковой системе построения мощных радиостанций блокировка позволяет выключение и включение любого блока «на ходу», т. е. во время работы радиостанции.

Кроме того, блокировка обеспечивает безопасность обслуживания радиостанции. Открытие любой двери или шкафа с высоким напряжением немедленно выключает его и заземляет все провода и части, на которых могло быть высокое напряжение.

Контроль за работой приборов управления и блокировки производится с помощью звуковой и световой сигнализации. Для удобства эксплоатации световые сигналы подаются только при неисправности цепи и после того, как данная цепь подготовлена для дальнейшей операции. В ра-

бочем состоянии аппаратуры на пульте управления радиостанцией имеется минимальное количество сигналов. Аварийное состояние какой-либо из цепей или аварийное отключение отмечается появлением звукового или светового сигнала. Так например, перегрев воды, идущей на охлаждение ламп, отмечается звуковым сигналом. Если это аварийное состояние быстро не ликвидировано, то автоматически отключается вся радиостанция, что отмечается аварийным световым сигналом, указывающим причину, по какой произошла авария.

В систему автоматики радиостанции входят также защитные устройства работающего оборудования от повреждений. Для силового оборудования это — обычная защита, применяемая на электростанциях. Для радиотехнического оборудования, в особенности для мощных радиоламп и выпрямителей, применяется отдельная защита. Например, для мощных радиоламп и мощных выпрямителей устанавливаются специальные быстродействующие автоматы типа «С» с повторным включением, обеспечивающие отключение вакуумных приборов в момент нарастания тока короткого замыкания, в особенности при «рокки-пойнт» эффекте в лампах и обратных зажиганиях в выпрямителях.

ЭКСПЛОАТАЦИЯ МОЩНЫХ РАДИОСТАНЦИЙ

Устойчивость и бесперебойность работы радиостанции в значительной мере зависит от качества эксплоатации. Эксплоатация должна обеспечить нормальную работу всех агрегатов радиостанции и их исправное техническое состояние. Это, в свою очередь, возможно только при хорошо налаженном профилактическом ремонте и при прекрасном знании техники всего многообразного оборудования современной мощной радиостанции.

Для нормальной и бесперебойной работы радиостанции необходимы:

1) предварительное испытание вакуумных приборов и наблюдение за их работой; это важно и для эксплоатации и для завода-изготовителя, который только таким путём может установить скрытые дефекты, выявляющиеся в процессе работы;

2) аккуратное ведение технических паспортов, обеспе-

чивающее своевременность профилактического ремонта и исправное состояние действующего оборудования;

3) анализ статистических данных по техническим остановкам и авариям на радиостанции как один из методов определения слабых мест в работе оборудования;

4) знание и изучение экономики эксплоатации радиостанции;

5) повседневное наблюдение за качественными показателями, систематическое их измерение и анализ с целью улучшения работы оборудования по отдельным звеньям.

На ряде хорошо работающих мощных радиостанций выросла значительная группа технически грамотных прекрасных эксплоатационников, из которых, в первую очередь, должны быть отмечены: В. Н. Аксёнов, П. П. Нестеров, А. К. Стариков, В. Г. Васильков, В. И. Панасюк, В. М. Тимофеев, И. В. Островский, Е. П. Верещагин и Л. Г. Иванов.

Советские мощные радиостанции, завоевавшие первое место в мире по мощности в одной единице и по общей суммарной мощности, созданы нашей отечественной промышленностью в результате выполнения сталинских пятилеток. У нас в стране выросли замечательные кадры радиоспециалистов: проектировщиков, производственников, конструкторов, строителей и эксплоатационников, достойных своего великого предшественника А. С. Попова. Это является залогом того, что и в дальнейшем советское радиостроение, непрерывно развиваясь и улучшаясь, будет находиться на уровне передовой техники.

Инж. Г. В. ШУЛЕЙКИН

СТРОИТЕЛЬСТВО РАДИОМАЧТ В СССР

Первые опыты А. С. Попова, их проверка на радиосвязях и первая публичная передача производились в Военно-морском ведомстве. Поэтому естественно, что для подвески антенн в первую очередь были применены деревянные одноствольные мачты типа корабельных (рис. 1). Простота, лёгкость установки и дешевизна этих мачт обусловили их широкое распространение; более того, этот тип мачт является и в настоящее время основным для лёгких и средних антенн при относительно небольшой высоте подвеса (до 65 *м*).

В течение первых 15 лет эксплоатации радио были построены также несколько металлических одноствольных мачт с трубчатым стволом, сконструированных по типу деревянных, но большого распространения они не получили.

Перед началом первой мировой войны русские инженеры спроектировали и в 1914—1915 гг. установили более сложные типы опор для тяжёлых антенных сетей. Это были решётчатые металлические и деревянные мачты высотой 110 *м* (последние повидимому первые в мире) и решётчатые башни высотой 75 и 90 *м* (рис. 2). Ажурность башни, треугольная форма в плане и полураскосная система решётки надолго остались доминирующими в зарубежном строительстве радиобашен.

Мировая война, приведшая к упадку народного хозяйства, затормозила дальнейшее развитие мачтовой техники в России. И лишь с 1919 г. по прямому указанию В. И. Ленина радиостроительство получает новый размах. Для строящихся радиостанций были разработаны и смонтированы деревянные четырёхствольные мачты высотой

100 и 150 *м* (рис. 3 и 4). Новая мачта представляла собой четырёхбревёнчатую балку, поддерживаемую несколькими ярусами оттяжек. Тело мачты собиралось из четырёх брёвен, соединённых шпонками или, как их называют

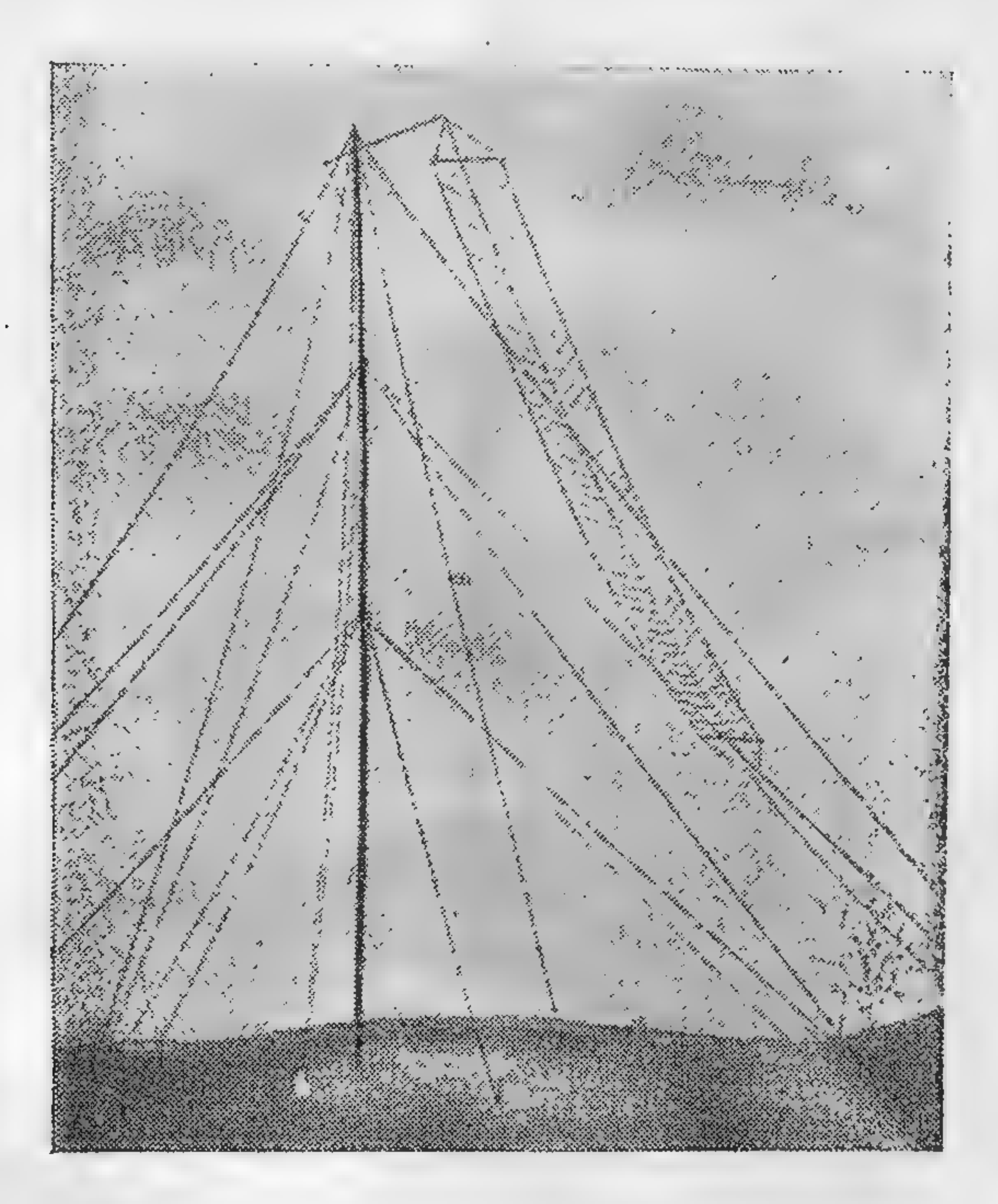


Рис. 1. Вид антенной установки одной из первых радиостанций.

в мачтах, прокладками. Стык брёвен скреплялся бугелями (хомутами).

Конструкция четырёхствольной мачты отличается изяществом и лёгкостью. Достаточно сказать, что такая мачта при высоте 22-этажного дома имеет менее 70 *см* в поперечнике.

Крупнейшим событием в мачтостроении явилась постройка в Москве по проекту и под руководством крупнейшего русского конструктора академика В. Г. Шухова знаменитой Шуховской башни — металлической башни

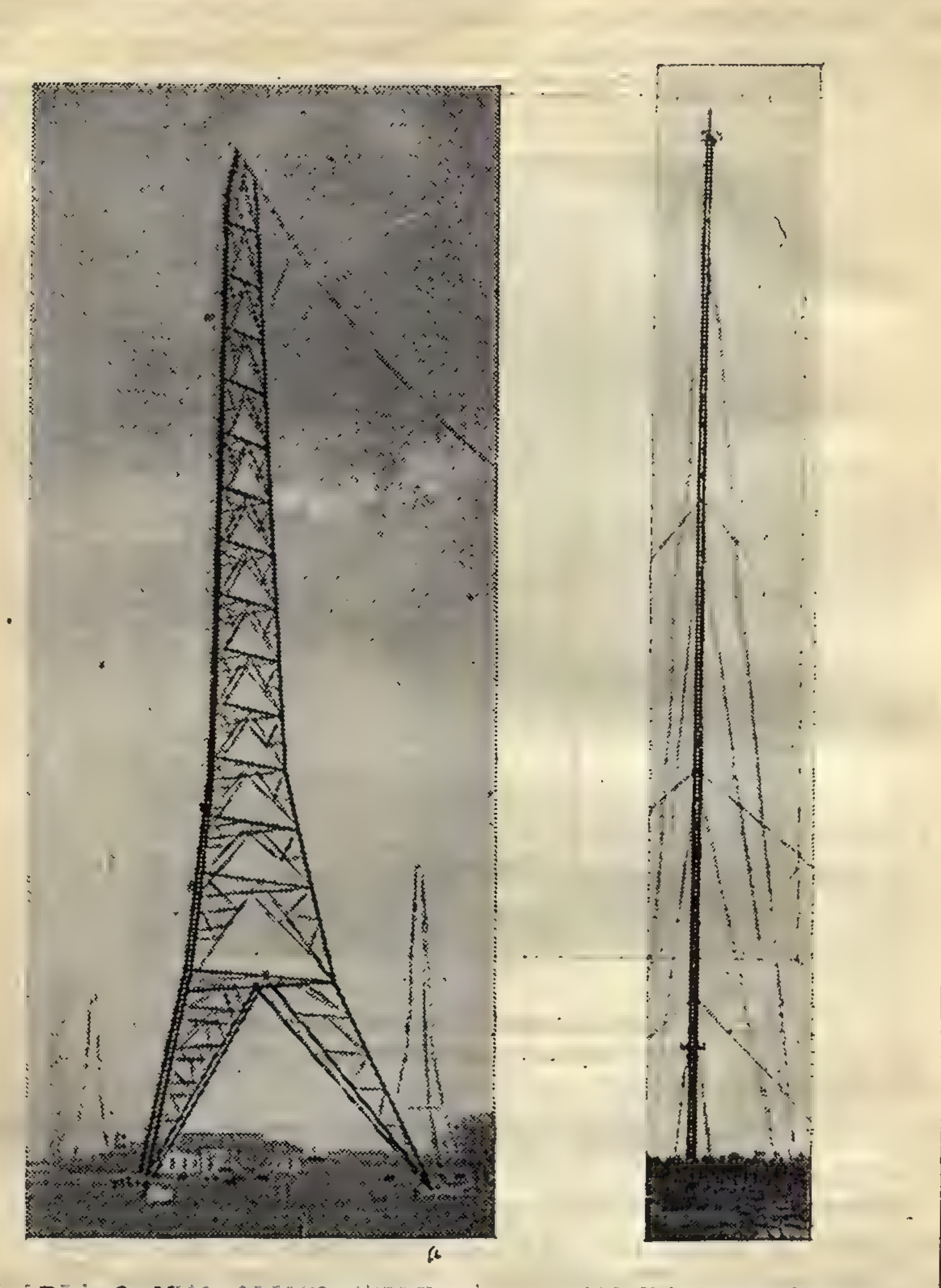


Рис. 2. Металлическая решётчатая треугольная башня.

Рис. 3. Деревянная четырёхствольная мачта; общий вид.

высотой 150 *м* (рис. 5). В конструкции этой башни, имеющей форму гиперболоида вращения, сочеталось глубокое знание математики с уменьем его использовать практически, редкое чутьё конструктора, улавливающего простоту



Рис. 4. Деревянная четырёхствольная мачта; вид снизу вверх.

деталей, с чувством инженера-художника, облекающего своё произведение в приятную для глаза форму. Простота сооружения этой башни при её размерах — исключительна. Отдельные участки башни — секции высотой 25÷30 *м* собирались на земле, внутри ранее установленной нижней части; затем с помощью трёх лебёдок и блочной системы

выдвигались вверх и закреплялись. Прямолинейность почти всех элементов башни обусловила исключительно простое их соединение.

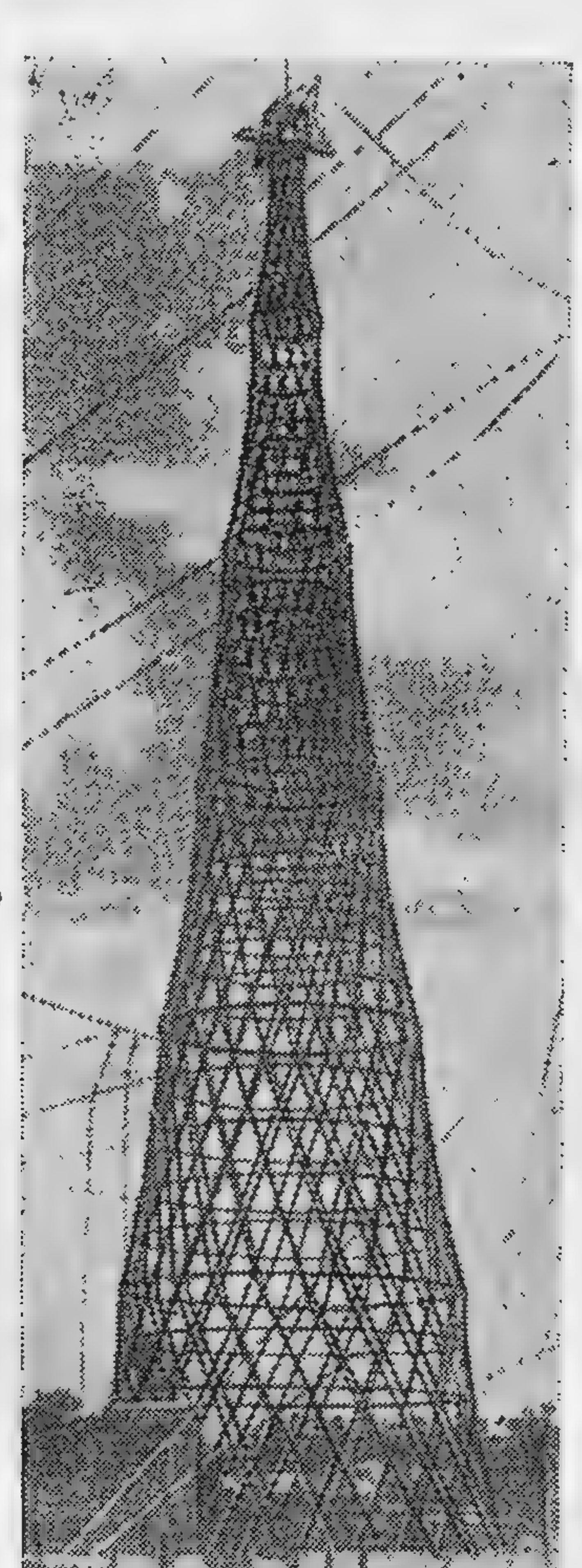


Рис. 5. Башня Шухова.

Наряду со строительством первых мачт проводились теоретические и экспериментальные изыскания по определению методики расчёта мачтовых конструкций.

Теоретические разработки первого этапа мачтостроения большей частью публиковались в журналах «Радиотехник» и «Телеграфия и телефония без проводов». Из опубликованных материалов особо следует отметить статьи С. Я. Турлыгина и интересную работу С. К. Бажанова о наивыгоднейших условиях установки анкеров мачт.

В этот период также разрешались вопросы конструирования отдельных крупных узлов — оснований, анкеров, креплений оттяжек к мачте и т. п. (в частности, массивные бетонные анкеры «сундучного типа» были заменены более рациональными и экономичными железобетонными анкерами, показанными на рис. 6); отыскивались лучшие методы постройки сложных высотных сооружений (в мачтах отношение высоты к поперечному сечению доходит до 250); устанавливались простейшие и вместе с тем надёжнейшие правила техники безопасности для верхолазов, воспитывались кадры мачтовиков-верхолазов.

Здесь нельзя не упомянуть мастера связи Т. Н. Белоу-

сова, «дедушку» русского мачтостроения, построившего за тридцать с лишним лет своей деятельности несколько сот различных деревянных и металлических мачт высотой до 200 *м*.

В начале тридцатых годов началось строительство мощных вещательных радиостанций. Деревянные четырёхствольные мачты, имеющие предел высоты около 175 *м*, для этих станций были непригодны вследствие сравни-

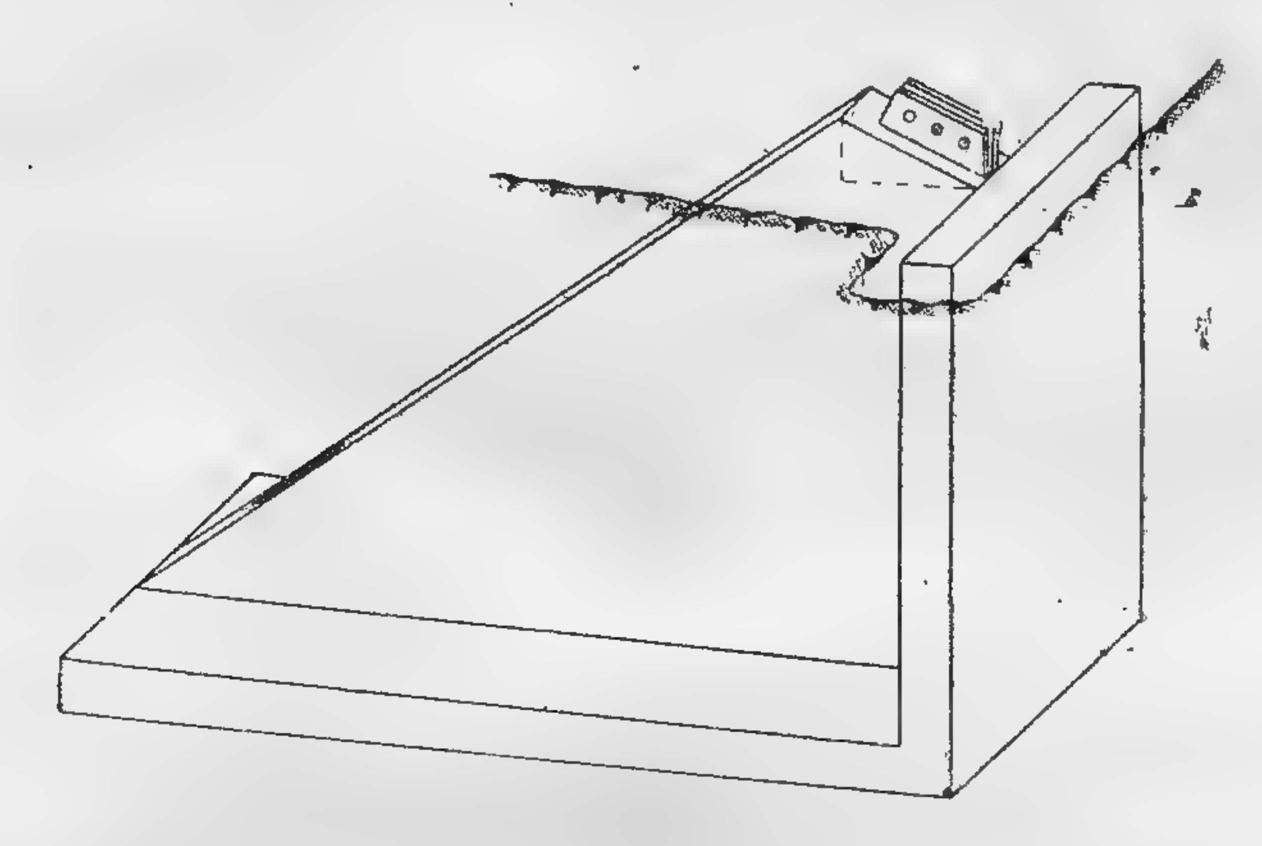


Рис. 6. Железобетонный анкер для крепления оттяжек мачты.

тельно малой высоты и опасности возгорания. Поэтому конструкторам пришлось возобновить строительство металлических мачт. Наиболее интересными типами металлических мачт являются решётчатые и безраскосно-сварные мачты (рис. 7). Решётчатые мачты высотой 150 и 200 *м* начали сооружаться с 1935 г. и получили, несмотря на значительный вес, широкое распространение; до 1942 г. их можно считать основным типом мачт. Безраскосно-сварная мачта высотой 205 *м* и весом 52 *т* была построена в 1936 году. Сварка узлов этой мачты производилась частично на земле, в процессе контрольной сборки, частично при установке на высоте. Сварочные агрегаты находились на земле, а сварщики, работавшие в беседке на мачте, были связаны телефоном с инструктором, регулировавшим подачу тока.

Развитие радиосвязи на коротких волнах потребовало

строительства большого числа одноствольных деревянных мачт, предназначенных сначала для настроенных антенн и затем для кратных антенн и, наконец, для антенн диа-

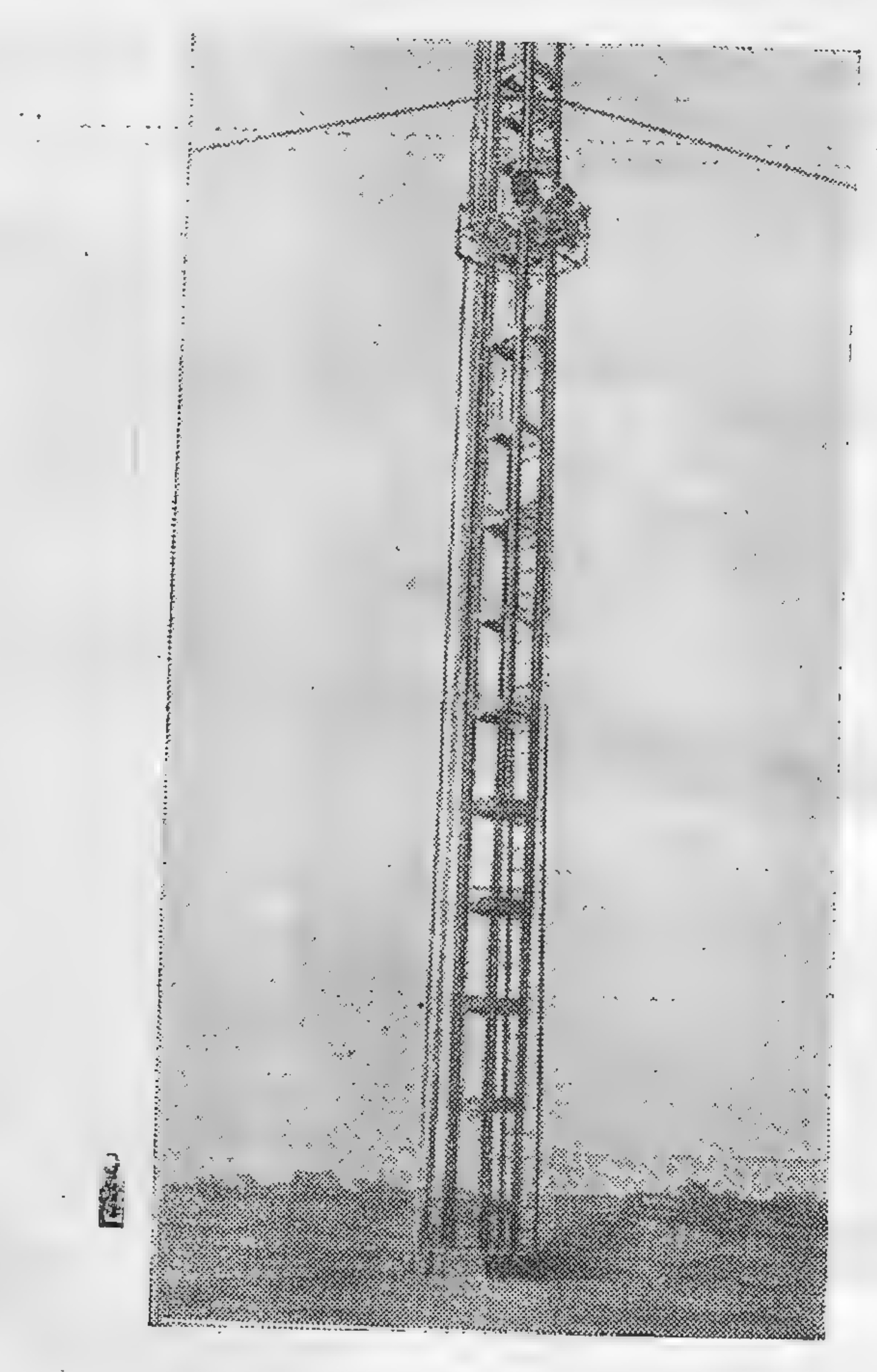


Рис. 7. Безраскосно-сварная мачта; нижняя часть и площадка для освещения.

пазонных. Усложнение антенн, диктовавшееся всё возрастающими требованиями к дальности и качеству радиосвязи, потребовало применения мачт с большой высотой и жёсткостью. На смену одноствольным деревянным мач-

там пришли мачты четырёхствольные деревянные, металлические безраскосные и решётчатые и, наконец, металлические башни высотой до 75 *м*. Процесс подъёма таких мачт существенно упростился, так как строители отка-

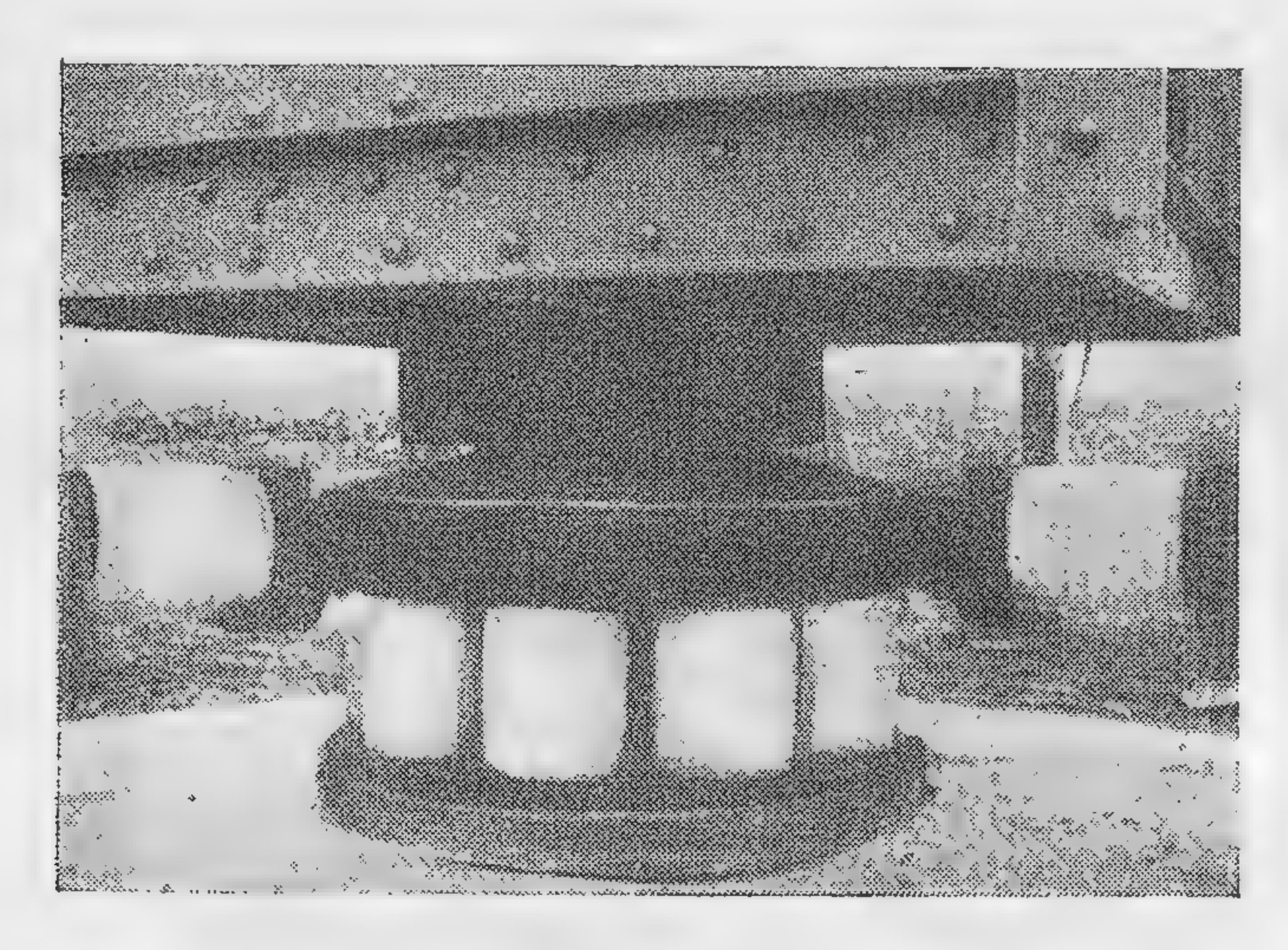


Рис. 8. Основание мачты, изолированной от земли.

зались от постепенной сборки мачты, а перешли к предварительной сборке мачты на земле и последующему подъёму с помощью вращающейся стрелы.

В годы, предшествовавшие второй мировой войне, для целей вещания всё чаще начали применять антенны-мачты или антенны-башни, в которых сама опора является излучателем высокочастотной электроэнергии. Питание к таким мачтам подводится снизу металлоконструкции, что требует изоляции опорной части от земли. В результате весь опорный узел (рис. 8) получается весьма сложным и тяжёлым.

Желание облегчить конструкцию и упростить трудный в исполнении и установке узел привело Г. З. Айзенберга к мысли осуществить питание антенны-мачты (или башни) в верхней части, что исключает необходимость опорных изоляторов. Такие антенны-мачты с «верхним питанием» были установлены в ряде городов Союза ещё в 1940—1941 гг.

Одной из последних по конструкции является башня высотой 200 *м*, выполненная из труб (руководитель А. Г. Соколов); большая опытная работа, проделанная перед проектированием этой башни позволила создать экономичную и простую в установке конструкцию тела башни. Ажурность и изящество башни придают ей красивый вид при хороших показателях. Опыт конструирова-

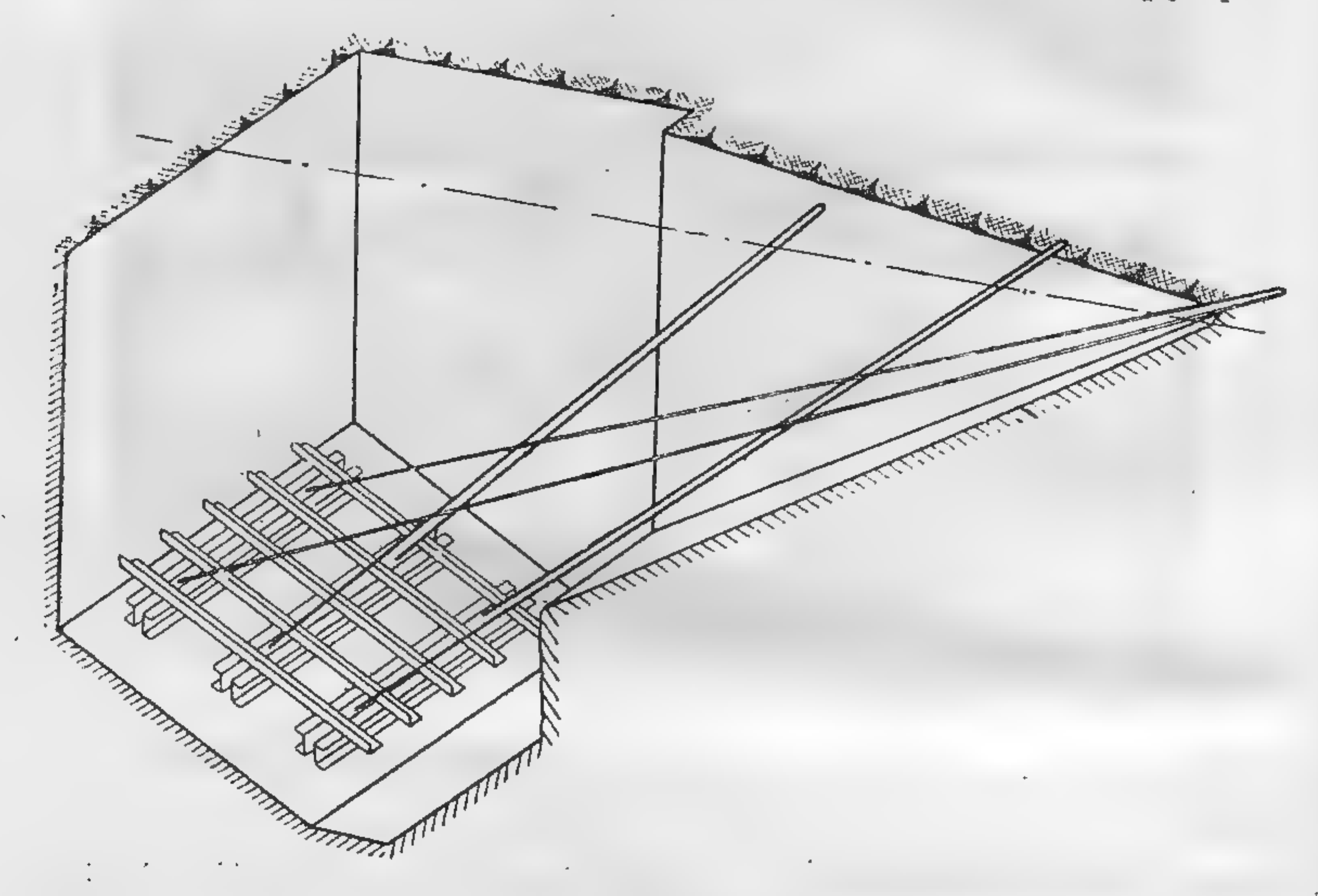


Рис. 9. Балочный стальной анкер.

ния трубчатой башни показывает, как велико значение предварительной теоретической и опытной разработки наивыгоднейшего типа мачтово-башенной конструкции.

С сороковых годов неотъемлемой частью каждого проекта нового типа опоры становится исследовательская разработка, посвящённая или уточнению метода расчёта, с целью ликвидировать излишние запасы прочности, ограничить действие так называемого коэфициента «незнания», или приданию более выгодной конфигурации решётке мачты (башни).

Наряду с этим систематически проводятся как теоретические, так и экспериментальные исследования ряда вопросов, связанных с проектированием и строительством антенных опор. Например, экспериментальная работа по опре-

делению ветровых давлений на мачту дала результаты, значительно отличающиеся от зарубежных, позволила облегчить вес мачты и получить значительную экономию металла. Правильный выбор решётки конструкции и замена заклёпочно-болтовых креплений электросваркой позволили уменьшить вес металлической мачты почти на 40%.

Отдельные узлы мачт также подвергались изменениям. В частности, в 1942 г. Центральный научно-исследовательский институт связи совместно с 15-м строительно-монтажным трестом разработал новую конструкцию анкера для оттяжек. Взамен массивных бетонных анкеров с металлической рамой или насыщенных арматурой железобетонных анкеров был предложен балочный анкер—металлическая рама из пересекающихся балок (рис. 9), закладываемая непосредственно в землю и работающая на выдёргивание. Для уменьшения изгибающих моментов в перекрещивающихся балках рамы нагрузка оттяжек передаётся в различные точки, что намного облегчает вес анкера (1,2 *т* при выдёргивающем усилии 15 *т*). Промежуток клетки между балками заполняется или крупными камнями или лёгкими тонкими железобетонными плитками. В крайнем случае на стальную раму можно сделать настил из нетолстых брёвен. К тому времени, когда древесина сгниёт, грунт на глубине анкера (2÷3 *м*) настолько слежится, что сгнивание брёвен не скажется на работе анкера.

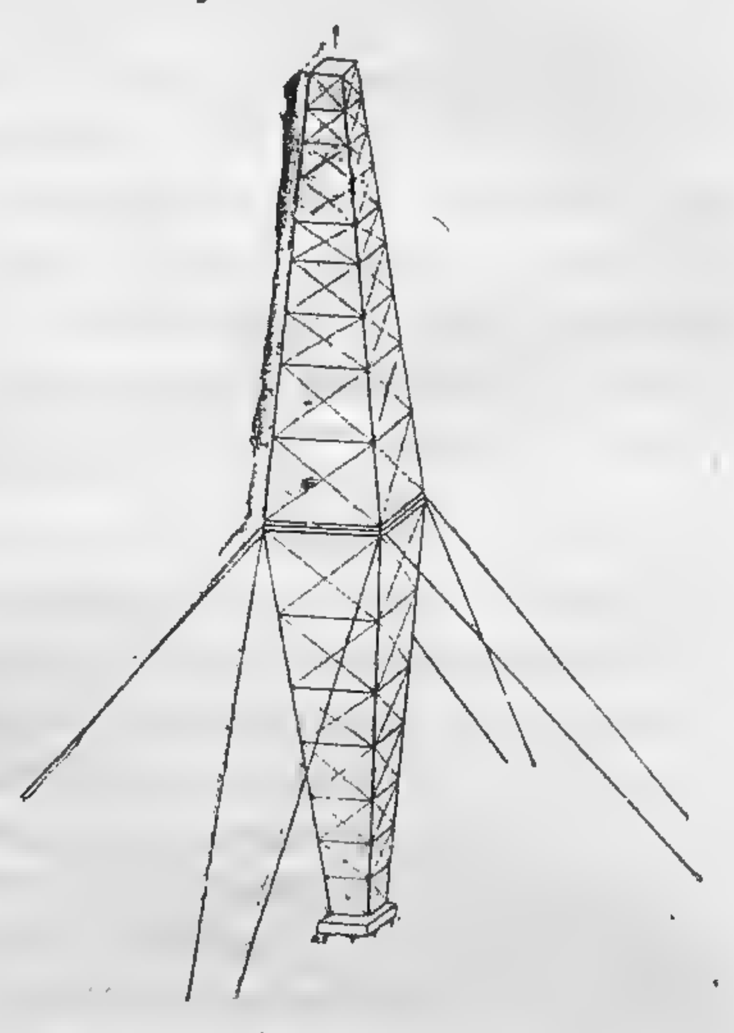


Рис. 10. Расположение оттяжек высокой сигарообразной мачты.

Улучшение конструкций коснулось не только металлических опор, но и деревянных мачт, главным образом, одноствольных. Внесены упрощения в систему анкеров: вместо сложного голландского зуба для сращивания брёвен делается стык в полдерева, кованые бугеля для затягивания

стыков заменены лёгкими сварными. В результате конструкция одноствольных мачт получилась настолько глубоко проработанной, что на очереди встал вопрос о стандартизации этих мачт.

Развитие радиотехники требует непрерывного усовершенствования вспомогательных устройств, в том числе и антенных опор.

Конечно, крупные радиовещательные установки выгоднее всего обслуживать антеннами-опорами (мачтами или башнями). Однако, высота таких опор ($100 \div 200$ *м*) не всегда бывает достаточной для требуемых диапазонов волн, и поэтому в ближайшие годы придётся переходить на антенны-мачты высотой $250 \div 350$ *м*, например, сигарообразные мачты на одном ярусе оттяжек с 8 оттяжками в плане (рис. 10) или, что даёт значительно меньший вес,— призматические (одинакового сечения) мачты на 5—6 ярусах оттяжек с неравномерным распределением оттяжек на высоте, т. е. с пролётами между оттяжками, увеличивающимися к верху мачты. Выбор того или иного варианта будет зависеть от местных условий: в городе или на окраине большого города предпочтительнее ставить мачту на одном ярусе оттяжек. Такая мачта занимает меньшую площадь и производит более приятное внешнее впечатление по сравнению с многоярусной, хотя и дороже её.

Развитие радиосвязей потребует массового строительства антенн для магистральных и внутриобластных связей. Такие антенны нуждаются в большом числе невысоких опор (часто по 6 опор высотой до 45 *м* на одну антенну). Деревянные опоры подвержены гниению и периодически должны заменяться. При большом их числе становится заманчивым вместо деревянных мачт установить металлические, поскольку такие мачты легко собирать, поднимать и при изменении направления связи переносить на другое место. Также весьма желательно, чтобы металлические мачты различных высот можно было собрать из типовых элементов или секций.

Увеличение числа связей при использовании направленных антенн приводит к существенному расширению территории радиостанции. Чтобы избежать такого расширения, целесообразно осуществление вращающихся коротковолновых антенн. Эта задача может быть решена несколькими путями. В Голландии, например, применили довольно тра-

фаретный и громоздкий способ: две башни, несущие антенну, поставили на рельсовые пути, идущие по окружности. Более оригинальное решение дал И. И. Рыжов. Он предложил на двух башнях, несущих жёсткие вибраторы-антенны, оборудовать вращающиеся консоли и на эти консоли располагать вибраторы. Изменение расстояния между башнями при повороте компенсируется сдвигом фаз между токами, независимо питающими обе башни (принцип сложения мощностей в эфире). При этой системе вращающий механизм и направляющие консолей получаются несложными, и легко обеспечивается требуемое направление с необходимой точностью. Наконец, возможно третье решение — применение вращающегося наклонного ромба, у которого вершина верхнего острого угла вращается вокруг центральной высокой мачты, а другая вершина острого угла, подвешенная на невысокой опоре, двигается по лёгкому рельсовому пути. На том же рельсовом пути имеются ползунки, к которым от центральной высокой мачты идут тросы, поддерживающие тупые углы ромба.

Одной из основных задач мачтовой техники ближайших лет является осуществление опор, несущих на себе приёмно-передающие антенны ультракоротковолновых магистралей. Эти опоры при узко направленных пучках излучения должны будут иметь большую жёсткость, ограничивающую как прогиб верхушек, так и их девиацию, кроме того, в местах с резко меняющейся температурой (Казахстан, Киргизия и т. д.) придётся принимать меры, исключающие поворот верхушки опоры около вертикальной оси, под влиянием неравномерного нагрева солнцем.

Наконец, как одну из исключительно крупных задач, связанных с мачтостроением, можно отметить постройку монументального радиодома большой высоты (400÷600 *м*), представляющего собой башню, тело которой занято техническими помещениями, а верхушка предназначается для антенн телевизионного и звукового вещания на укв. По высоте опоры могут быть расположены и другие антенны, как коротковолновые (вибраторы), так и длинноволновые (вертикальные и наклонные).

Инж. П. Н. КУКСЕНКО

РАЗВИТИЕ ТЕХНИКИ РАДИОПРИЁМА

ПЕРВЫЙ ЭТАП

Работы Попова, приведшие к изобретению радио, знаменательны для техники радиоприёма в двух отношениях: 1) в том, что изобретением радио фактически явилось изобретение радиоприёмника и 2) в том, что первыми «радиокорреспондентами» Попова были разряды атмосферного электричества.

Подход к изобретению радио со стороны приёма был вполне логичным. И в настоящее время проблемы радиоприёма, играющие большую роль в общем прогрессе радио, более доступны, чем проблемы радиопередачи, так как реализация их проще и требует в большинстве случаев меньших расходов от каждого отдельного изобретателя и конструктора.

Использование в качестве «корреспондента» разрядов атмосферного электричества было также вполне естественным. Очень часто и теперь, желая убедиться в исправности приёмника, прибегают к проверкам его «на шумы». Правда, мы всячески стремимся устранить влияние атмосферного электричества при практическом приёме, но для Попова оно было удобным, хорошим и надёжным источником круглосуточного действия.

Решение Поповым ряда вопросов, связанных с изобретением радио, поражает своей технической смелостью и продуманностью. После тщательного изучения и усовершенствования прибора, обнаруживающего радиоволны,— когерера Бранли и Лоджа, была поднята его чувствительность и достигнута безотказность действия. Затем к коге-

реру была подключена антенна, весьма похожая на современную радиолюбительскую, и осуществлено заземление. Наконец, в качестве индикатора сигналов был применён сначала электрический звонок, а затем регистрирующее перо. Таким образом, Попов в отличие от других экспериментаторов целеустремлённо применил весь арсенал известных тогда технических средств. Пожалуй, антенна была даже чересчур совершенной для первого эксперимента. В протоколе заседания Физико-химического общества от 7 мая 1895 г. записано, что в качестве антенны испытывалась небольшая «телефонная линия г. Кронштадта», т. е. фактически «волновая» антенна, изобретённая через 25 лет Бевереджем.

Замечательно и то, что немедленно после демонстрации приёмник Попова нашёл практическое применение. Будучи установлен в Лесном институте, он в течение всего лета 1895 г. работал вместе с другими метеорологическими приборами, исправно отмечая приближение гроз. Другой такой же приёмник находился на Нижегородской электростанции. Это были первые радиоприёмники на эксплоатационной службе.

Дальнейшие работы Попова были направлены на всестороннее усовершенствование изобретённого радиоприёмника. Параллельно с усовершенствованием антенны Попов непрерывно улучшает свой кохерер, пока не приходит (в 1900 г.) к угольно-стальному автокохереру (без встряхивания), явившемуся предшественником кристаллического детектора.

Попов добивается резкого увеличения дальности радиосвязи, введя телефонный приём на слух 28 мая 1899 г. Наконец, в 1901 г. для настройки антенного контура на принимаемую волну он применяет резонатор Удена (катушку с движками).

Отсутствие достаточных средств не позволяло Попову использовать большие мощности на передаче, и поэтому увеличение дальности радиосвязи происходило в основном за счёт усовершенствования радиоприёмника. Попов достигал не меньших дальностей радиосвязи, чем Маркони, при одинаковой мощности передатчика. Период с 1895 по 1905 г., вплоть до смерти Попова, был годами расцвета техники радиоприёма в России.

ДОЛАМПОВЫЙ ПЕРИОД

В первый период развития радиоприёмной техники весь прогресс в области радиоприёма фактически свёлся к усовершенствованию приёмника, осуществлённого Поповым.

После отказа от кохерера внимание было сосредоточено на усовершенствовании детекторов. В 1902 г. фирма Маркони выпустила магнитные детекторы, разработанные на основе работ Розефорда. В 1905 г. появился электролитический детектор, изобретённый Фессенденом и усовершенствованный Шломильхом.

Наконец, в 1906—1908 гг. всеобщее распространение получил контактный кристаллический детектор. Изобретение кристаллического детектора было большим шагом вперёд, так как он значительно увеличивал чувствительность приёмника и, что очень важно, упрощал его устройство. Был предложен целый ряд вариантов кристаллического детектора. Первым, но мало удачным, вариантом был предложенный в 1901 г. Брауном псиломелановый детектор. Наилучшими детекторами оказались карборундовый, предложенный Дэнуди, перикон-детектор Пикара и галеновый детектор Тиссо.

Серьёзные усовершенствования были сделаны в области «настраиваемых» приёмников. Настройку контуров стали осуществлять конденсаторами переменной ёмкости. Для повышения чувствительности и избирательности приёмников начали уменьшать потери в колебательных контурах. В 1910 г. появился приёмник с дополнительным промежуточным настраиваемым контуром, связывающим антенный контур с цепью детектора. Введение этого контура значительно повысило остроту настройки приёмника и позволило обеспечивать приём передатчиков, работающих на близких волнах.

Из русских достижений первого периода следует отметить работу в области радиоприёма коллектива Радиотелеграфного депо Морского ведомства (М. В. Шулейкин, Н. Н. Циклинский и др.). Это депо в 1910—1912 гг. разработало и выпустило приёмники, ни в чём не уступавшие лучшим заграничным образцам.

Вторая работа — разработка «кристадина»—генерирующего кристаллического детектора — была осуществлена

уже после Октябрьской революции в Нижегородской радиолаборатории О. В. Лосевым. Очень досадно, что эта работа опоздала по времени, иначе она сыграла бы исключительную роль в общем прогрессе радиотехники. Правда, и опоздав, она всё же получила признание как в Совет-

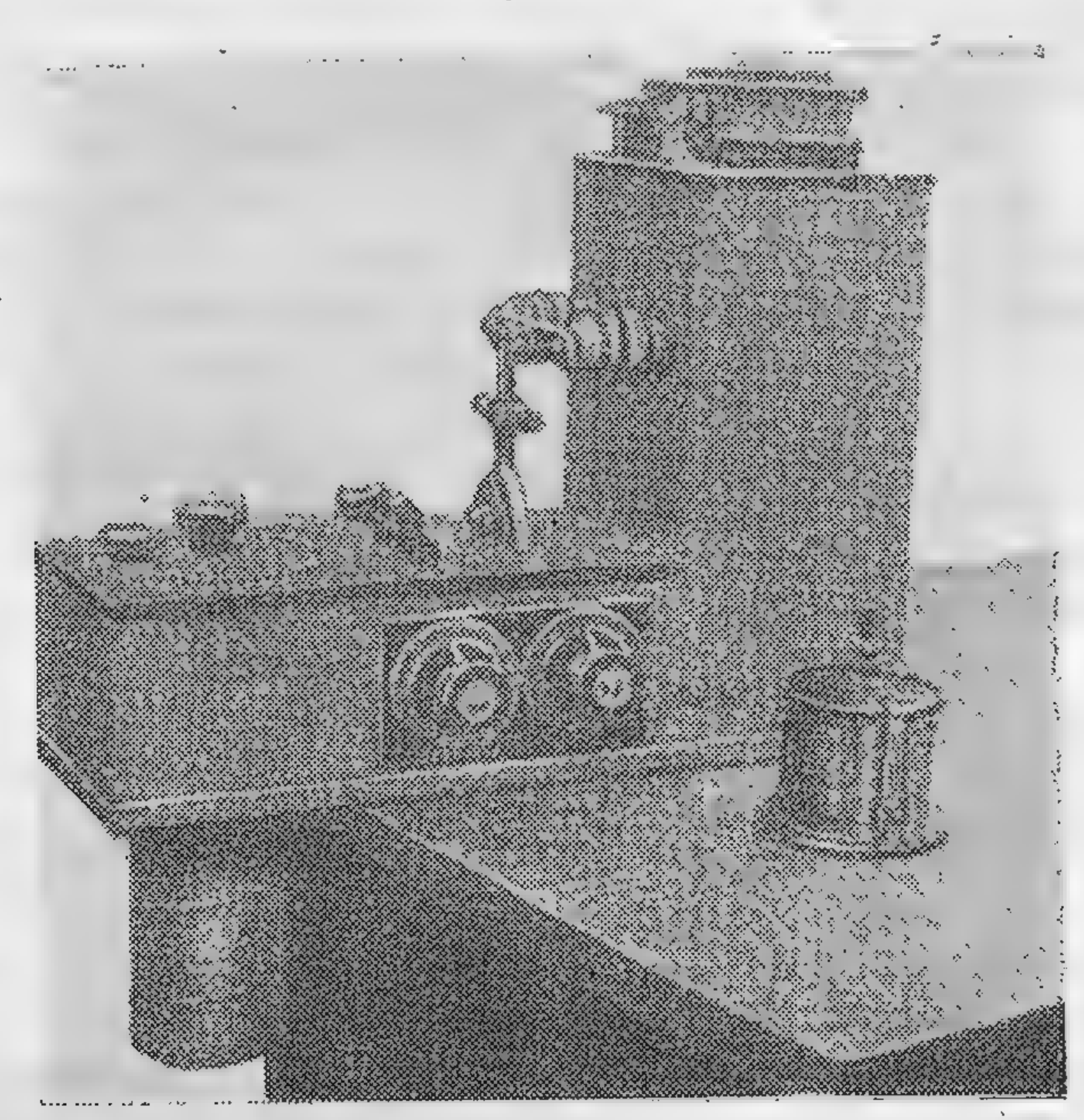


Рис. 1. Детекторный приёмник РГС-4 (1914) и детекторный приёмник П-6 (1928).

ской России, так и за границей и содействовала развитию радиолюбительского приёма в его начальной стадии.

ЛАМПОВЫЙ ПЕРИОД

Ламповый период в радиоприёмной технике следует считать начавшимся с 1915 г., хотя электронная лампа была изобретена значительно раньше. Первый ламповый детектор, запатентованный Флемингом в 1904 г., был использован в радиоприёмниках ещё в 1908—1909 гг., но в своём первоначальном виде не мог конкурировать с кристаллическим детектором. Больше того, и трёхэлектрод-

ная лампа Ли де-Фореста первоначально не могла вытеснить кристаллический детектор.

Только в 1915 г. благодаря появлению ламп с высоким вакуумом отношение к лампе резко изменилось.

В самый разгар первой мировой войны в Англии и Франции началось изготовление первых ламповых аппаратов для радиоприёма. Их сначала строили в виде отдельных усилителей, включаемых или в гнёзда телефона приёмника или в гнёзда детектора. В последнем случае первая лампа аппарата являлась детектором, работающим по анодной или сеточной схеме. Во французском усилителе «3-ter» впервые в цепь сетки был включён гридлик, теория действия которого была дана значительно позднее.

Большую роль в развитии ламповой радиотехники сыграли английские и французские лампы типа «S» с цилиндрическими электродами, позволившие конструировать устойчивую ламповую приёмную аппаратуру. В 1916 г. появился у нас и первый гетеродин, известный под названием «французского гетеродина». Несмотря на ряд конструктивных преувеличений и громоздкость он оказался очень полезным прибором.

После Октябрьской революции, когда молодая Советская Россия оказалась в блокаде и всякая помощь из-за границы была исключена, возник вопрос о производстве ламповой приёмной аппаратуры на отечественных предприятиях. С этой задачей быстро справились две вновь организованные радиолаборатории. Нижегородская радиолаборатория (В. М. Лещинский, М. А. Бонч-Бруевич, А. Ф. Шорин, Г. А. Остроумов и др.) очень быстро наладила производство ламповой аппаратуры и разработала лампу типа ПР1 с плоским алюминиевым анодом, по параметрам не уступавшую французской лампе. Другой лабораторией, также наладившей производство ламповой приёмной радиоаппаратуры, была 2-я радиобаза Красной Армии в Казани. Здесь был разработан компактный гетеродин на широкий диапазон частот, а также усилительная аппаратура.

Позднее приёмные лампы начали выпускать многие советские радиолаборатории: лаборатория Политехнического института (М. М. Богословский и академик А. А. Чернышёв), лаборатория Одесского радиозавода и

др. В это же время организовалась вакуумная лаборатория на заводе «Светлана» (С. А. Векшинский, С. А. Зусмановский, А. А. Шапошников и др.), которая затем возглавила разработку приёмных ламп в Союзе.

Совместными усилиями лаборатории дали стране вполне удовлетворительные приёмные лампы, сначала с вольфрамовой нитью, а затем с торированной и оксидными нитями. В 1923 г. появились знаменитые лампы «Микро», которые потребляли по цепи накала мощность в 10 раз меньшую, чем лампы с вольфрамовой нитью.

Начало регулярного радиовещания потребовало дальнейшего улучшения приёмной техники.

Непрерывный рост числа передающих радиостанций и усовершенствование методов передачи, переход от затухающих колебаний к незатухающим, начало радиотелефонирования заставили технику радиоприёма искать новых путей развития. С тех пор приёмная радиотехника прошла через несколько эпох, каждая из которых ознаменовалась появлением принципиально новой схемы.

В 1913 г. Армстронгом в США и независимо от него Франклином и Раундом в Англии была изобретена в разных вариантах схема приёма с обратной связью, названная регенеративной. В этой схеме путём применения обратной связи сопротивление приёмного контура уменьшается до весьма малых величин, в результате чего чувствительность и избирательность приёмника резко возрастают. Регенератор при применении всего одной лампы обеспечивал приём затухающих и незатухающих колебаний, а также телефонии с такой избирательностью и чувствительностью, какую до тех пор никакими способами получить не удавалось. Первоначальное развитие регенератора было задержано несовершенством лампы, но в 1918—1920 гг. его популярность стала совершенно необычной. Появилось большое количество разновидностей регенеративных схем, отличающихся способом регулировки обратной связи (Рейнарца, Виганта, Шнеля, Лейтхаузера, Фроми, позднее Дэя и др.).

В январе 1923 г. П. Н. Куксенко и А. Л. Минц запатентовали так называемую феррорегенеративную схему, в которой настройка приёмного контура в диапазоне волн 500 ÷ 20 000 *м* осуществлялась перемещением специального железного сердечника. После разработки специальных

материалов (феррокарт, магнетит, карбонил, гекалой и др.), состоящих из тонкого железного порошка, прессуемого в твёрдую массу с помощью связующих изолирующих материалов, этот метод начали применять не только для настройки приёмников, но и для уменьшения потерь в катушках за счёт уменьшения числа витков в катушке.

Продолжая работы в области регенерации, Армстронг в 1922 г. запатентовал сверхрегенеративный приёмник. Сверхрегенератор представляет собой ламповый генератор, в котором параметры (крутизна лампы), определяющие обратную связь, периодически меняются около предела генерации с частотой более низкой, чем собственные колебания регенератора. Эти периодические изменения достигаются: 1) воздействием на цепь сетки или анода переменной электродвижущей силой от вспомогательного генератора или 2) путём получения режима самомодуляции или прерывистой генерации.

Появление сверхрегенератора вызвало большой интерес среди радиоспециалистов, но после того, как был достаточно понят механизм его работы, стало ясным, что значение сверхрегенератора для развития техники радиоприёма значительно меньше, чем предполагалось вначале. Наиболее полное объяснение явлений, на которых базируется действие сверхрегенератора, дали советские радиофизики Г. С. Горелик и М. Г. Гинц.

Сверхрегенератор обладает следующими основными недостатками: 1) приёмник имеет много резонансных точек, сливающихся при низкой вспомогательной частоте в общую широкую область резонанса, с полосой порядка 50÷100 *кгц* и больше; 2) приёмник даёт наибольшую чувствительность при режиме сплошных «шумов», вызываемых флуктуациями анодного тока в лампе при срыве и возникновении собственных колебаний.

Многочисленные попытки улучшить работу сверхрегенератора ни к чему не привели, и эта схема сыграла свою роль лишь при приёме ультракоротких волн в первоначальной стадии их развития. Сейчас сверхрегенератор можно встретить только в тех случаях, когда основным требованием, предъявляемым к приёмнику, является простота устройства.

Несколько позже, хотя и по другим причинам, потерял

своё значение и простой регенератор, у которого выявились следующие основные недостатки:

1. Кривая избирательности регенератора не обеспечивает качественного приёма: в вершине она остроконечна, а на боковых участках следует по кривой резонанса колебательного контура приёмника, как и при отсутствии обратной связи.

2. Избирательность регенератора зависит от силы принимаемого сигнала. При приёме сильных сигналов высокая избирательность, достигнутая за счёт обратной связи, подавляется и приём обусловливается только избирательностью колебательного контура, как будто бы обратной связи нет. Таким образом, в наиболее важных случаях при отстройке от местных мешающих передатчиков избирательность регенератора ухудшается. При приёме незатухающих колебаний в генераторном режиме, кроме того, наблюдается явление «увлечения» собственных колебаний регенератора принимаемой частотой сигнала, вследствие чего резонансная полоса расширяется.

3. Избирательность, а следовательно, и чувствительность регенератора в сильной степени изменяются при колебаниях в питающих напряжениях, что оказывается особенно неприятным в приёмниках коротких волн.

4. При случайных, неизбежных переходах через критическую связь регенератор даёт сильное обратное излучение, оказывающее мешающее действие на другие приёмники. По этой причине в некоторых странах использование регенератора в городах запрещено законодательным путём.

Эти недостатки настолько велики, что регенератор, вначале очень популярный, стал по мере развития других, более совершенных схем, быстро терять своё значение.

Почти одновременно с регенератором начала свою долголетнюю жизнь схема супергетеродина, которой суждено было сыграть исключительную роль. Эта схема была запатентована в 1918 г. Армстронгом в США и одновременно Леви во Франции. Несколько раньше схему супера запатентовал в Англии Раунд, хотя его схема ещё не имела всех элементов будущего супергетеродина. Сущность всех патентов на супергетеродин сводилась к тому, что для получения высокой избирательности и равномерного усиления по диапазону авторы предлагали понизить принятую частоту сигнала, преобразовав её по методу биений в дру-

гую высокую частоту, называемую промежуточной. Любопытно, что метод супергетеродинирования с повышением частоты не был предусмотрен авторами и явился предметом особого патента Серджента (1926), который назвал такую схему «инфрадином».

Первые супергетеродинные приёмники были выпущены в Америке и Европе, примерно, в 1921 году. В своём первоначальном виде они представляли довольно громоздкие устройства, обладавшие существенными недостатками. Наличие второго «зеркального» канала приёма обусловливало преувеличенные «шумы» и помехи. При приёме, вследствие биений на гармонических частотах гетеродина и сигнала, возникали всякого рода дополнительные свисты. Наконец, обилие ламп сильно удорожало эксплоатацию приёмников.

Нейтродинный приёмник, запатентованный в 1923 г. в США Хазелтайном, оказался очень серьёзным конкурентом супергетеродина. В нейтродинной схеме связи между контурами соседних каскадов, возникающие через ёмкость лампы, были нейтрализованы, что позволяло осуществлять на триодах приёмники прямого усиления с несколькими каскадами усиления высокой частоты. Стабильность усиления обеспечивалась в нейтродинной схеме и при контурах с малыми потерями. Единственными недостатками нейтродинных приёмников были: 1) сложность процесса регулировки при массовом производстве и 2) неравномерность усиления по диапазону.

В 1925—1928 гг. происходила серьёзная борьба между суперами и нейтродинами и одно время казалось, что нейтродин выигрывает эту борьбу. Однако, так было только до тех пор, пока в приёмниках господствовали триодные лампы.

Крупным событием триодного этапа лампового периода явилась лампа с подогревным катодом, предложенная в США Хэллом (1923). Эта лампа прокладывала новые пути в конструировании приёмников, питаемых от переменного тока.

В 1922—1925 гг. появилась так называемая рефлексная схема, т. е. схема с использованием одних и тех же ламп для усиления высокой и низкой частот. Схема эта имела ряд недостатков и ограничений и очень скоро была оставлена. Однако, в 1931—1932 гг. не только в Европе, но и

в США появились приёмники, собранные по рефлексной схеме. Произошло это потому, что новые многоэлектродные лампы вызвали пересмотр всех установившихся взглядов. Позднее целесообразность применения рефлексной схемы стала проблематичной и от неё снова отказались.

У нас в 1923—1924 гг. П. Н. Куксенко заявил целый ряд разновидностей рефлексных схем, некоторые из которых были с успехом использованы в компактных приёмниках пишущего радиоприёма и определённым образом сыграли свою роль.

МНОГОЭЛЕКТРОДНЫЕ ЛАМПЫ

Новая эпоха в прогрессе приёмной техники началась и протекала под знаком развития многоэлектродных ламп. Триод, который довольно долго был универсальной лампой, в новых приёмниках перешёл на второстепенные роли. Новые многоэлектродные лампы вызвали коренную ломку в методах конструирования приёмников.

Первой многоэлектродной лампой явилась двухсеточная лампа, появившаяся ещё в 1923 году. Она позволяла существенно снизить напряжение анодных батарей, и поэтому нашла широкое применение в радиолюбительской практике. В профессиональном радиоприёме двухсеточная лампа почти не применялась. С развитием многосеточных ламп экранированного типа эта лампа очень быстро стала ненужной.

Появление экранированной тетродной лампы относится к 1926 г. Новые лампы потребовали полного пересмотра всех прежних конструкций. Схемы, в которых они могли работать наилучшим образом, нужно было находить заново. Из старых схем сразу же отпала нейтродинная схема. Значение регенератора снизилось ещё на одну ступень. Супергетеродин также был отвергнут, хотя и не надолго. На смену им пришли приёмники прямого усиления с одним или двумя каскадами высокой частоты. С новыми лампами они имели такую чувствительность, какая прежде была лишь у суперов. Новые лампы обеспечивали устойчивое усиление на высокой частоте при использовании в контурах катушек с малыми потерями. Это вызвало применение катушек с сердечниками, спрессованными из железного порошка.

В 1929 г. экранированная лампа была серьёзно усовершенствована введением противодинатронной сетки, устранившей динатронный эффект. Теперь лампа, не боясь перегрузки, могла усиливать большие напряжения. Началась эра пентодов. Первоначально пентоды использовались в мощных каскадах низкой частоты, где они позволяли значительно поднять коэфициент полезного действия, что было особенно существенно в батарейных радиовещательных приёмниках. Кроме того, пентоды оказались весьма подходящей оконечной лампой при работе на динамический громкоговоритель. Когда в 1932 г. были разработаны пентоды и для усиления высоких частот, тетрод стал выходить из употребления.

Приблизительно в это же время выявились определённые тенденции перехода от триодных и пентодных детекторов к простейшим диодным детекторам. Это, в частности, является прекрасным примером диалектического развития техники. Обратный переход к диоду объяснялся тем, что диод обеспечивает линейное детектирование и не боится перегрузки при сильных сигналах. Кроме того, диоды позволили сравнительно просто осуществить схемы автоматических регулировок в приёмниках.

Развитие ламповой техники дало возможность подчинить разработку новых приёмных ламп задачам радиоприёма, тогда как прежде приёмники фактически подгоняли под существующие лампы. С этого времени лампы развиваются и усовершенствуются одновременно в нескольких направлениях:

1. Тщательно разрабатывается электродная структура ламп для наилучшего выполнения ими одной функции в приёмнике.

2. Разрабатываются серии ламп с разнообразными, но стандартными типами катодов. Например, для приёмников, питаемых переменным током, выпускаются серии ламп с напряжением подогрева 4 *в* в Европе и 6,3 и 12 *в* в США. Для приёмников, питаемых от аккумуляторов, разрабатываются лампы с напряжением накала 2 *в*, а для приёмников, питаемых от сухих элементов, с напряжением 1,4 *в* и т. д.

3. Общая структура и оформление лампы приспосабливаются к новым требованиям в конструировании приёмников.

Всё это, вместе взятое, приводит в 1935 г. к разработке «классических» металлических ламп, а позднее снова вызывает появление стеклянных ламп, но малого габарита.

В выборе типов приёмных ламп наметились две основные, принципиально отличные тенденции: американская и английская. Англичане выпускают лампы с очень высокими, «рекордными» параметрами, но ввиду почти полного отсутствия механизации процессов производства очень дорогие. Американцы, наоборот, выпускают лампы со средними и даже низкими параметрами, но зато в максимальной степени подчиняющиеся механизации в производстве, а потому сравнительно дешёвые и, что важно, однородные. Однако, английские лампы позволяют изготовлять сравнительно простые и малоламповые приёмники, в то время как американские лампы, как правило, приводят к многоламповым конструкциям. В соответствии с возможностями ламп, в Англии наиболее распространёнными оказались 3—4-ламповые, а в США — 5—7-ламповые приёмники. Любопытно, что экономический подсчёт показывает выгодность английского варианта для собственника приёмника, а американского варианта — для промышленности. По мере совершенствования приёмной техники, в особенности после появления широкополосных телевизионных приёмников, английская и американская тенденции в разработке приёмных ламп всё более и более сближались и в конце концов совпали.

Коренной перелом в технике радиоприёма произошёл в 1931—1932 гг., когда приёмники прямого усиления были вынуждены уступить место супергетеродинам. Уже к 1934 г. в США и Англии число выпускаемых супергетеродинов, в особенности для радиовещания, значительно превосходило число приёмников прямого усиления. Понятно, что это были не прежние громоздкие и «назойливо шумливые» супера, а совершенно новые, преображённые конструкции.

Высокое качество новых суперов прежде всего было достигнуто применением для целей преобразования специально разработанных многоэлектродных ламп. Эти лампы обеспечивали: 1) высокую эффективность преобразования частоты, 2) отсутствие ложных настроек и посторонних свистов, 3) отсутствие явления увлечения частоты гетеродина принимаемой частотой, что особенно сущест-

венно для коротковолновых преобразователей, 4) стабильность частоты гетеродина при случайных изменениях в питающих напряжениях и 5) наличие высокого сопротивления со стороны выходной цепи для устранения воздействия лампы на частотную полосу контуров промежуточной частоты.

За период с 1931 по 1939 г. в общей сложности появилось 6 принципиально отличных преобразовательных ламп, которые могут быть разбиты на 2 основных класса: а) многосеточные или с двойным управлением и б) комбинированные.

Лампы первого класса работают по принципу изменения крутизны, «качания» характеристик. В них, кроме катода и анода, имеются несколько сеток. В первой лампе этого класса 5 сеток, она называется пентагридом или, по числу электродов, гептодом. Введение дополнительной шестой противодинатронной сетки привело к октоду. В лампах первого класса имеются две управляющие сетки. К одной управляющей сетке подводятся сигналы, а другая сетка в комбинации с одной из сеток высокого напряжения обеспечивает генерирование. Поток электронов, вылетевших из катода, проходит последовательно через все сетки.

В лампах второго класса поток электронов делится на 2 направления или канала и управляется в каждом из них самостоятельно. Фактически эти лампы имеют 3 управляющие сетки: две в детекторной части и одну в гетеродинной, причём эта сетка внутри самой лампы соединена с одной из сеток детекторной части. Наиболее распространённой лампой второго класса является гексод-триод или гептод-триод. Лампы второго класса используются преимущественно в коротковолновых приёмниках или во всеволновых приёмниках с диапазоном очень коротких волн. Во всей же массе радиовещательных приёмников наиболее распространены гептоды.

Однако, высокие качества современных супергетеродинов обусловливаются не только применением новых преобразовательных ламп. Эти приёмники отличаются от прежних также по целому ряду других показателей.

В настоящее время эффект приёма по зеркальному каналу в супергетеродинах практически полностью устранён за счёт хорошей избирательности до преобразования. На средних волнах отношение эффектов приёма по основ-

ному и по зеркальному каналам превышает 1000, на самых коротких волнах оно не опускается ниже 100. Этому в немалой степени также способствует использование сравнительно высокой промежуточной частоты. В радиовещательных суперах применяется принятая международным соглашением стандартная промежуточная частота 456 *кгц*, на которой запрещена всякая работа передатчиков.

Усиление по промежуточной частоте современного супергетеродина ограничивается обычно одним или двумя каскадами. Число ламп в современных суперах меньше, чем в прежних.

Настройка всех приёмных контуров и контура гетеродина производится одной рукояткой. Сопряжение приёмных контуров с контуром гетеродина осуществляется различными способами, наиболее распространённым является схематический способ сопряжения, при котором в контур гетеродина последовательно включается правильно рассчитанный конденсатор. Операция эта настолько проста, что ею владеют даже широкие круги радиолюбителей.

Диапазоны волн современных суперов очень широки. Некоторые всеволновые супера позволяют принимать станции, работающие на волнах, лежащих в диапазоне от 2000 до 5—4 *м*.

Новые супера чрезвычайно разнообразны по своей структуре и составу схемы. Достаточно сказать, что зарегистрированы супера с числом ламп от 1 до 1000. Первый— это рефлексный супер с лампой триод-пентод, второй — супергетеродин с 3 преобразованиями частоты, применяемый на коммерческой радиотелефонной линии Лондон — Нью-Йорк. Наиболее многочисленны супера с 4—5 лампами, обеспечивающие чувствительность и избирательность, близкие к предельным. Но наиболее изумительными являются появившиеся в 1940 г. в США супера карманного типа, помещаемые вместе с громкоговорителем, источниками питания и приёмной рамкой в коробочке, легко размещающейся в кармане. Для этих суперов, ставших весьма популярными, создана специальная суперная серия ламп «пальчикового» типа, состоящая из гептода, пентода высокой частоты, диод-триода и выходного пентода. Каждая из этих ламп потребляет по цепи накала ток всего 50 *ма* при напряжении 1,4 *в* и работает нормально при анодном напряжении 40 *в*. Для питания цепей накала

разработан малогабаритный сухой цилиндрический элемент, для питания анодных цепей—компактная батарейка из элементов галетного типа. Несмотря на свою миниатюрность карманный супер имеет чувствительность 1,5÷2 *мкв* и обеспечивает на маленькую рамку хороший приём отдалённых радиотелефонных станций.

Преимущества супергетеродина различны в зависимости от диапазона волн, на которых он используется.

На длинных волнах преимущества супера перед приёмником прямого усиления в общем невелики и в основном характеризуются большей равномерностью чувствительности по диапазону. На средних волнах по чувствительности и избирательности супергетеродин для одинаковых заданных условий получается наиболее дешёвым приёмником. На коротких волнах схема супера позволяет строить приёмники на широкий диапазон с необычайной равномерностью усиления по диапазону и высокой устойчивой избирательностью. На ультракоротких волнах супер вообще не имеет конкурентов.

В современных суперах в отличие от их предшественников и от приёмников, собранных по другим схемам, широко используются всякого рода автоматические регулировки, повышающие качество приёма и упрощающие обслуживание. Наиболее известной и распространённой является автоматическая регулировка чувствительности приёмника, поддерживающая постоянство выхода при изменениях силы сигнала. Кроме того, в суперах находят применение следующие виды автоматических регулировок:

1) регулировка полосы частот, пропускаемых усилителем низкой частоты, осуществляемая самим сигналом, позволяет уменьшить влияние помех при слабых сигналах;

2) аналогичная регулировка полосы частот, пропускаемых усилителем высокой частоты, называемая иначе регулировкой избирательности приёмника, реализуется в двух вариантах в зависимости от того, чем управляется избирательность: а) несущей частотой самого сигнала или б) мешающими передачами на частотах, смежных с принимаемой;

3) регулировка шумового уровня в приёмнике, называемая иначе «тихой настройкой», устраняет шумы на выходе при отсутствии приёма сигналов, когда приёмник развивает максимальную чувствительность;

4) автоматическая подстройка поддерживает настройку приёмника точно на частоте сигнала;

5) автоматическая настройка контуров позволяет простым нажатием кнопки установить настройку на желаемого корреспондента; кнопочная настройка была решена в нескольких вариантах и до войны получила очень широкое распространение в радиовещательных приёмниках.

В одном приёмнике невозможно одновременно применить все виды автоматических регуляторов, однако, чем выше класс приёмника, тем больше в нём автоматических регулировок и тем меньше умения требуется для оптимальной настройки такого приёмника.

Всё сказанное выше об общем развитии приёмных схем в одинаковой степени относится ко всем категориям приёмников независимо от условий их использования. Строгая диференциация современных приёмников по назначению и по условиям применения обусловила для каждой категории наличие известных особенностей. В настоящее время наиболее развиты и специфически обособлены радиовещательные профессиональные и военные приёмники.

Радиовещательные приёмники подвергаются более частой модернизации, чем приёмники других категорий. Все новинки в области радиоприёма в первую очередь проверяются в радиовещательных приёмниках, что между прочим приводит к их быстрому моральному износу. По своей сложности радиовещательные приёмники делятся на классы, определяемые в основном их стоимостью.

Наиболее дешёвые приёмники собираются по простым схемам, в наиболее дорогих не останавливаются перед использованием самых сложнейших схем, и, конечно, схема супера, осложнённая всевозможными автоматическими регулировками, здесь господствует безраздельно. В США стоимость приёмников высшего класса приближается к стоимости автомобиля. Характерным для этого класса является 25÷30-ламповый приёмник с кнопочной настройкой на 15÷20 станций, причём по желанию ассортимент этих станций можно как угодно менять. Большое внимание обращено на качество воспроизведения звука; как правило, в приёмниках используются 2—3 громкоговорителя: один (большой) — для воспроизведения по преимуществу нижних частот, два другие (малые) — для воспроизведения верхних частот. Приёмник обычно имеет приспо-

собление для проигрывания граммофонных пластинок с автоматической сменой их, а также приспособление для звукозаписи. Всё новое, что может повысить качество приёма и упростить обслуживание, находит применение в приёмниках высшего класса. Так например, для этих приёмников были разработаны специальные приборы, позволяющие производить включение и настройку приёмника на расстоянии 30 ÷ 50 *м*. Разные варианты приборов дистанционного управления предусматривают передачу управляющих сигналов по радио или по проводам осветительной сети, причём в последнем случае сигнал может передаваться или токами высокой частоты или постоянным током.

На первом месте по выпуску радиовещательных приёмников стоят США, в которых к 1938 г. число выпускаемых приёмников достигло 9 миллионов штук в год. Второе место занимает Англия, в которой выпуск был доведён до 2 миллионов приёмников в год.

Переходя к рассмотрению особенностей коротковолновых профессиональных приёмников, прежде всего укажем, что в диапазоне коротких волн автоматические регулировки не могли найти такого распространения, как в средневолновом диапазоне, ввиду неустойчивости настройки, обусловливаемой в суперах, главным образом, нестабильностью частоты гетеродина. Эта же причина затрудняет реализацию на коротких волнах многих принципиально новых способов приёма (синхронный приём, узкополосный приём, избирательное детектирование, фазовое детектирование и т. д.). Переход на новые методы требует использования фиксированных кварцованных каналов и автоматической подстройки контуров гетеродина в приёмнике. Некоторое повышение стабильности частоты коротковолновых гетеродинов в суперах достигается следующими путями:

1. В гетеродинах применяются специальные температуроустойчивые радиодетали и лампы.

2. Изменение частоты гетеродина от прогрева деталей и лампы компенсируется конденсаторами с отрицательным температурным коэфициентом, т. е. конденсаторами с титанооксидными диэлектриками (тиконд).

3. Наконец, разрабатываются специальные супера, хотя и с фиксированной частотой гетеродина, но дающие плав-

ную настройку за счёт изменения настройки усилителя промежуточной частоты. Эта схема впервые появилась в 1928 г., но не нашла применения, так как техника того времени не позволяла выполнить её с высокими показателями. В настоящее время, используя двукратное преобразование частоты, такую схему можно осуществить с удовлетворительными результатами и в приёмниках с широким диапазоном. Между прочим, она может быть использована в радиовещательных приёмниках, и при наличии всего лишь одного кварца обеспечит стабильный приём коротковолновых радиовещательных полос.

Определённые трудности при коротковолновом приёме создают быстрые и глубокие замирания сигналов. Для борьбы с замираниями разработано несколько способов, которые можно разбить на две большие группы. В способах, относящихся к первой группе, для достижения постоянства сигналов используется ограничение, насыщение или автоматическая регулировка усиления. Ко второй группе относятся способы, использующие то обстоятельство, что замирания различны: а) на разных частотах или частотных полосах, б) в различных плоскостях поляризации, в) в различных местах пространства.

Как показывает опыт, лучшие результаты даёт одновременный приём сигнала в нескольких точках пространства и его последующее сложение. Первоначально такой приём производился на 2 или 3 антенны, расположенные одна от другой, примерно, на $^1/_6$ длины принимаемой волны и работающие каждая на самостоятельный приёмник. Сложение сигналов, принятых приёмниками, происходило после детектирования. В дальнейшем был найден способ, позволяющий обойтись одним приёмником, на входе которого с очень большой скоростью, не влияющей на воспроизведение сигналов, помощью электронного импульсного переключателя производится попеременное переключение антенн.

Ещё лучшие результаты в борьбе с замираниями дал способ раздельного приёма лучей, приходящих к приёмнику с различными углами в вертикальной плоскости. Эта система осуществлена в США Фриисом, применявшим для вертикальной избирательности группу ромбических антенн, расположенных на одной линии.

В области профессионального радиоприёма Советский

Союз занимает одно из первых мест. В 1932 г. отечественная электропромышленность слабого тока разработала и выпустила приёмник типа ПЦКУ (конструктор А. П. Сиверс), не уступавший по своим показателям лучшим заграничным образцам. Затем были выпущены значительно модернизированные варианты этого приёмника типа КТФ для приёма телефонии и типа КТГ для приёма телеграфии. В 1937 г. В. А. Котельников разработал совершенно

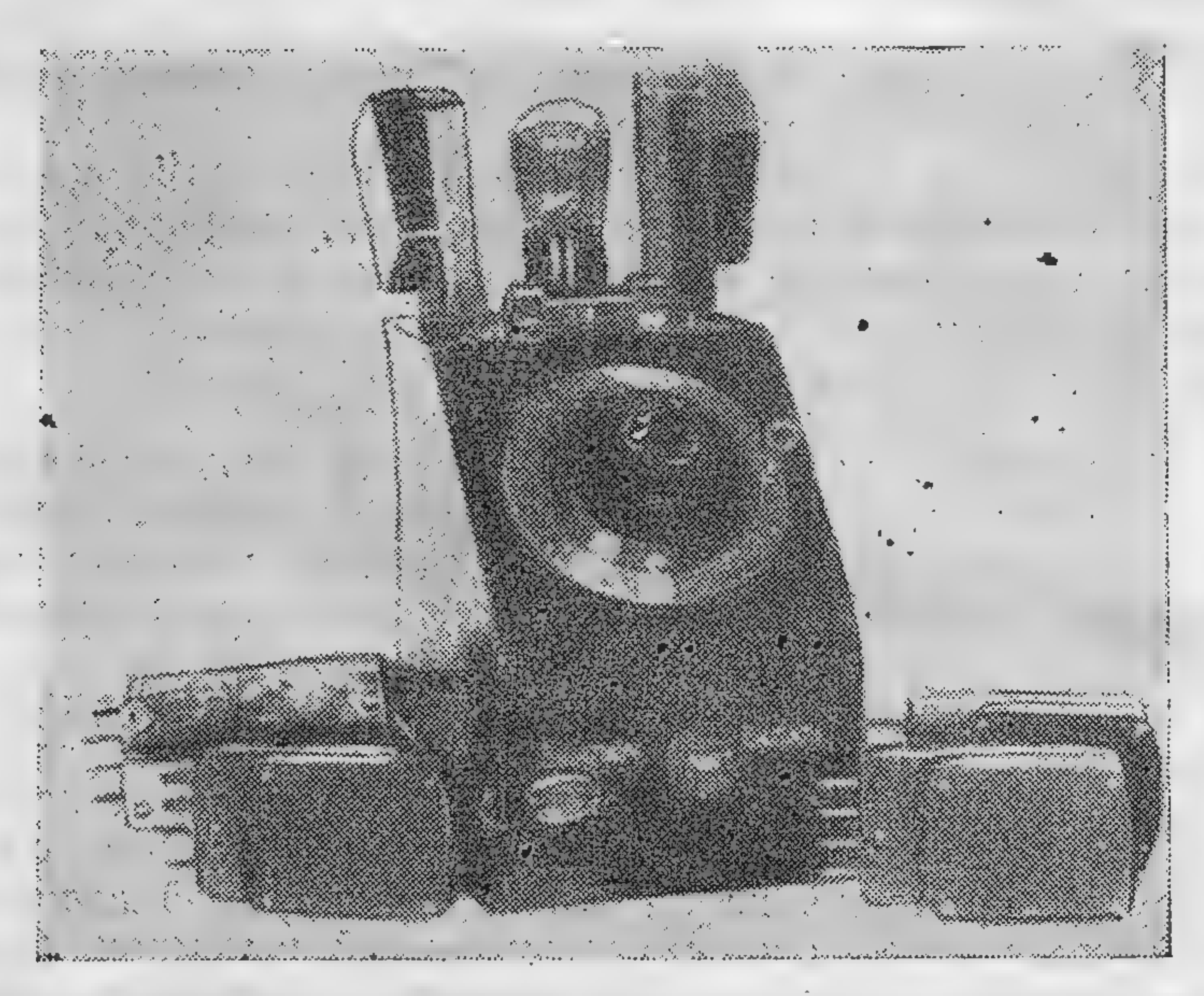


Рис. 2. Профессиональный ламповый приёмник ЛБ-2 (1924).

оригинальный и весьма эффективный приёмник для приёма однополосной радиотелефонной передачи боковых частот.

Ряд значительных работ, проделанных в области пишущего радиоприёма, позволил нашей стране сохранить ведущее положение почти во все периоды развития приёмной техники. Первым, кто осуществил пишущий радиоприём в России, был изобретатель радио А. С. Попов, использовавший для этой цели аппарат Морзе. В 1921—1922 гг. интересные работы по приспособлению для радио аппаратов Бодо и Юза провёл А. Ф. Шорин. В 1923—1924 гг. пишущий

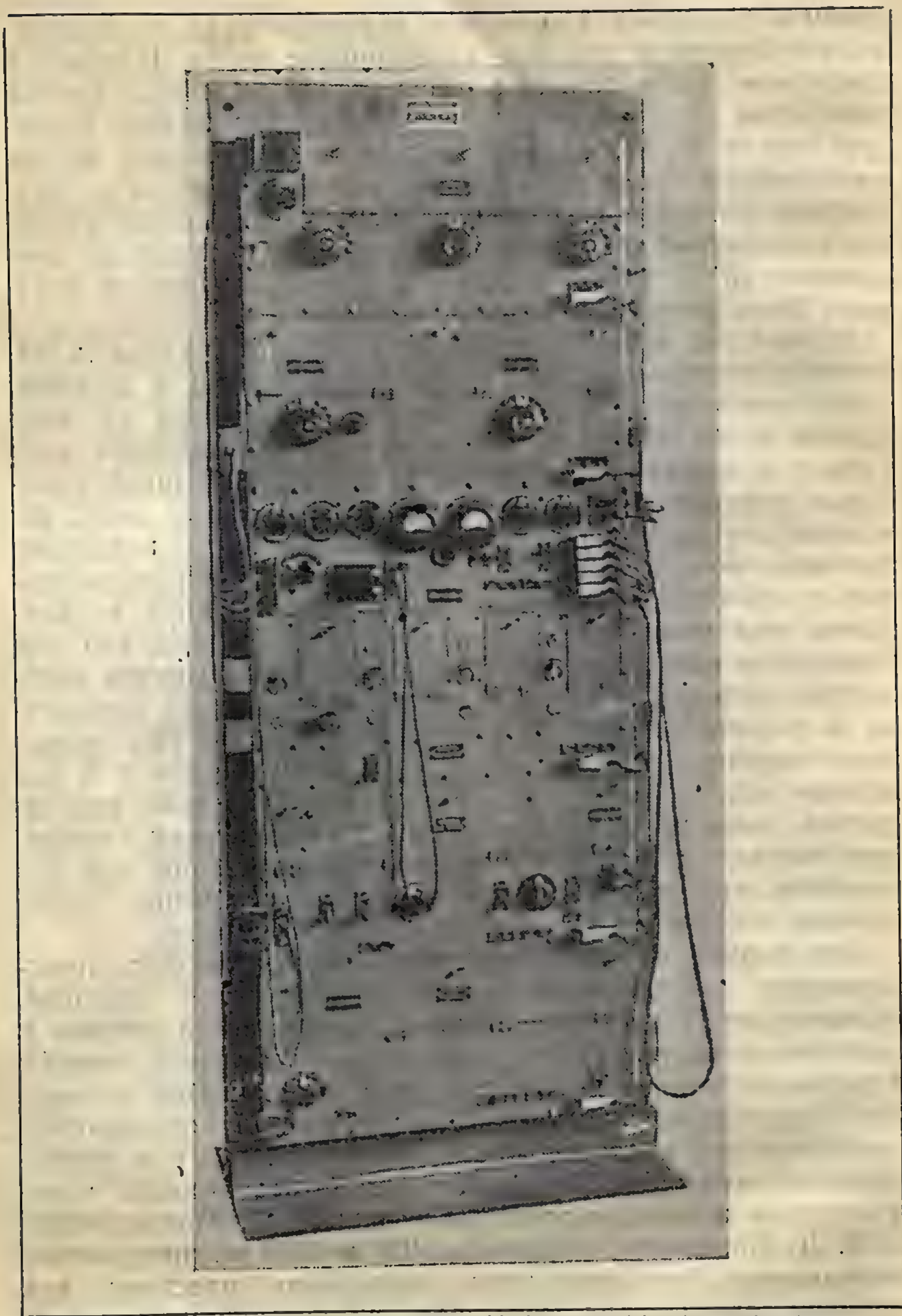


Рис. 3. Профессиональный ламповый приёмник КТФ (1937).

приём с большими скоростями осуществил П. Н. Куксенко, применивший впервые «электронное реле». Наконец, в последнее время больших результатов добилась группа инженеров Центрального научно-исследовательского института связи. И. Ф. Агапов предложил и выполнил весьма совершенные схемы электронных реле для работы со скоростями до 500 слов в минуту. Г. А. Локшин сконструировал компактный ондулятор, работающий с такими же скоростями. В. И. Керби и В. В. Новиков разработали аппараты Бодо-радио и т. д.

Важнейшей задачей ламповой приёмной техники в настоящее время является борьба с помехами и шумами, ограничивающими чувствительность приёмников на всех длинах волн. Над этим вопросом работает большой круг учёных и инженеров, которые уже сейчас достигли некоторых успехов в изучении физической стороны дела. Во всяком случае природа внутренних шумов, играющих большую роль в коротковолновых и ультракоротковолновых приёмниках, ясна и эти шумы принимаются во внимание при инженерных расчётах. Установлено, что для повышения абсолютной чувствительности приёмников необходимо добиваться уменьшения шумов на входе приёмника и в первой лампе. Для входных каскадов уже появились первые бесшумные лампы, дающие шум в 6 раз меньше обычного пентода. Выяснилось, что если рассчитывать связь приёмника с антенной на максимум отношения сигнал/шум, а не на оптимальное усиление, как это делалось прежде, то можно добиться увеличения абсолютной чувствительности приёмника в $2 \div 3$ раза.

Для борьбы с помехами импульсного характера, попадающими в приёмник извне, применяются способы, основанные: 1) на различии продолжительности сигнала и импульса помехи и 2) на ограничении амплитуды, причём в случае коротковолнового приёма с замираниями, а также при радиотелефонном приёме, амплитуда ограничения автоматически задаётся или несущей частотой или коэфициентом модуляции. Очень ценные методы борьбы с импульсными помехами дали академики Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси, которые в 1928 и 1930 гг. предложили использовать для этой цели кварцевую пластину как элемент связи двух контуров и автопараметрические фильтры, основанные на явлениях гетероавтопараметри-

ческого возбуждения. Автопараметрические фильтры, вызвавшие особый практический интерес, представляют собой недовозбуждённый генератор, возбуждение которого осуществляется электродвижущей силой двойной частоты. Последнее предложение Мандельштама и Папалекси является первым новым методом повышения избирательности приёма со времени патента на настраиваемое радио.

Весьма эффективным средством борьбы с помехами при приёме радиотелефонии оказалось использование частотной модуляции. Широкополосная частотная модуляция, осуществлённая на ультракоротких волнах, даёт поистине исключительные результаты. Если при амплитудной модуляции для хорошего телефонного приёма требуется поле порядка 200÷500 *мкв* на 1 *м*, то при приёме частотно-модулированных передач достаточно иметь поле всего в несколько микровольт. Любопытно, что при частотной модуляции помехи сказываются тем меньше, чем шире полоса частот, пропускаемых приёмником. Приёмник для частотно-модулированных передач отличается от обычного супера отсутствием второго детектора, вместо которого вводится амплитудный ограничитель, снимающий остаточную амплитудную модуляцию в сигнале и помехах, и дискриминатор — частотный детектор, преобразующий частотные изменения в амплитудные. С точки зрения радиоприёма частотная модуляция замечательна: 1) значительно меньшими помехами, вызываемыми взаимодействием передач одновременно работающих передатчиков, т. е. так называемыми помехами перекрёстной модуляции, 2) возможностью осуществления высококачественного воспроизведения радиотелефонных передач.

Частотная модуляция была предложена Армстронгом в 1936 г., однако, теоретическое объяснение всех явлений при приёме передач с частотной модуляцией дал впервые В. И. Сифоров. В области приёма частотно-модулированных передач, кроме того, заслуживают упоминания работы советских специалистов Ю. Б. Кобзарева, Н. И. Чистякова и Г. Т. Шитикова.

Заканчивая наш исторический обзор, не претендующий ввиду его краткости на исчерпывающее изложение всех

проблем радиоприёма, следует отметить, что общему прогрессу техники радиоприёма за истекшие 50 лет в очень большой степени содействовали наши соотечественники, давшие к тому же ряд учебных пособий по радиоприёму (Н. Н. Крылов, В. И. Сифоров, Л. Б. Слепян и др.), не имеющих ничего адэкватного за границей.

Отмечая успехи советской радиотехники, нельзя забывать, что перед нами стоят ещё большие и сложные задачи, связанные с необходимостью стимулировать рост и развитие отечественной радиопромышленности, от которой зависит дальнейший прогресс советского радио.

Инж. В. С. МЕЛЬНИКОВ

Канд. техн. наук И. И. ТЕУМИН

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ СИСТЕМ РАДИОТЕЛЕГРАФНОЙ СВЯЗИ

ОСНОВНЫЕ ИДЕИ И ПРИЧИНЫ СОЗДАНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ СИСТЕМ

Качественный и бесперебойный приём радиотелеграфных сигналов можно обеспечить только в том случае, если отношение напряжённости поля сигнала к полю, создаваемому в месте приёма помехой, не меньше некоторого предельно минимального значения. Чтобы получить необходимое преобладание сигнала над помехой, в ряде случаев требуется применять сложные направленные антенны с большим коэфициентом усиления и сильно увеличивать мощность передатчика. И то и другое вызывает значительные первоначальные и эксплоатационные затраты, но даже при резком увеличении мощности даёт сравнительно небольшой эффект. Происходит это потому, что напряжённость поля сигнала пропорциональна корню квадратному из величины излучаемой мощности, и, скажем, увеличение мощности в 10 раз (например, замена 15-киловаттного передатчика передатчиком 150-киловаттным) увеличит поле сигнала лишь в 3,16 раза.

Поэтому естественно стремление найти другое решение вопроса. Поскольку непосредственно уменьшить напряжённость поля помехи нельзя, то остаётся единственный путь, — по возможности уменьшить его влияние на конечный эффект приёма — фиксацию телеграфного знака. Соответственно, основная задача сводится к уменьшению вредного воздействия помехи и к сокращению количества

«существенных помех», т. е. таких помех, которые по своему характеру и величине способны вызвать написание и сбой.

Методы, позволяющие существенно снизить процент непринятых или значительно искажённых знаков, можно разбить на четыре основные группы. Это:

1) методы, уменьшающие влияние помехи путём создания частотной и амплитудной избирательности (применение узкополосных и тональных систем, ограничение по максимуму и минимуму);

2) методы, основанные на избирательном подавлении помехи путём специального преобразования сигнала (система частотного и тонального телеграфа);

3) методы избирательности продолжительности действия (устройства типа подавителей импульсов, автопараметрические фильтры);

4) методы, уменьшающие вероятность неписания и процент поражаемости передаваемого знака (вероятностная избирательность, импульсное радиотелеграфирование, частотная и многотональная манипуляция, работа с повторением, фототелеграфная передача знаков).

Бороться с пассивными помехами (замирания, радиоэхо) можно аналогичными методами и, в первую очередь, применением вероятностной избирательности и импульсной системы. Кроме того, целесообразно использовать специальные антенные устройства с управляемой направленностью или вести приём на разнесённые антенны.

Системами, имеющими перспективы развития, являются такие системы (или сочетание их), при которых осуществляется борьба с обоими видами помех.

Методы избирательности продолжительности действия не могут считаться достаточно эффективными и не нашли широкого применения. Остальные методы в той или иной степени исследованы теоретически и практически и подлежат дальнейшему развитию и внедрению.

УЗКОПОЛОСНЫЕ ТЕЛЕГРАФНЫЕ СИСТЕМЫ

Обычно применяемые телеграфные скорости, до 500 слов в минуту, создают относительно низкие манипуляционные частоты. Так например, при скорости в 500 слов в минуту частота первой гармоники равна 200 *гц*, третьей 600 *гц* и

пятой — 1000 *гц*. При передаче равномерных точек несущая частота и первые боковые имеют существенно большие уровни, нежели все другие частоты спектра (рис. 1). В несущей частоте (ω_0) и двух ближайших боковых частотах ($\omega_0 - \Omega$ и $\omega_0 + \Omega$) заключено 90% всей мощности и только 10% мощности падает на суммарную мощность всех других составляющих сигнала. Это позволяет значительно сузить приёмный канал и тем самым существенно уменьшить влияние различного рода помех. В частности, при скорости до 500 слов в минуту необходимая

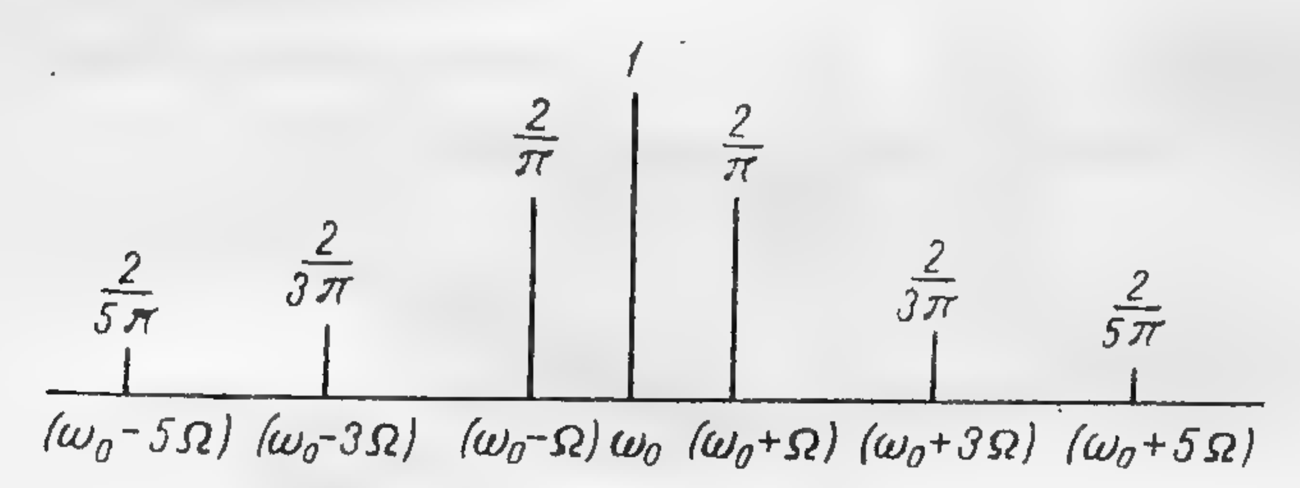


Рис. 1. Частотный спектр нормального телеграфного сигнала (манипуляция точками).

полоса пропускания приёмника с учётом двух боковых частот составляет всего 400 *гц*.

Однако, практическое использование этого метода повышения устойчивости радиосвязи наталкивается на известные трудности.

Во-первых, даже высшая норма стабильности передатчика не обеспечивает устойчивой работы радиотелеграфного канала при узкополосном приёме. Например, на волне порядка 30 *м* при норме стабильности частоты современных передатчиков от 0,01 до 0,001% отклонение частоты передатчика от номинала составит от 1000 до 100 *гц* и основной спектр частот, излучаемых передатчиком, не может устойчиво держаться в канале 400 *гц*.

Во-вторых, телеграфный сигнал после узкого фильтра в результате отфильтровки высших боковых частот утрачивает нормальную прямоугольную форму (рис. 2). Между тем для нормальной работы оконечной телеграфной аппаратуры подаваемый на неё электрический сигнал должен быть прямоугольным. Преобразование закруглённого сигнала в прямоугольный затруднительно, так как

вследствие замираний уровень сигнала не остаётся постоянным, а продукт преобразования — прямоугольный сигнал — не должен иметь ни амплитудных, ни временных преобладаний.

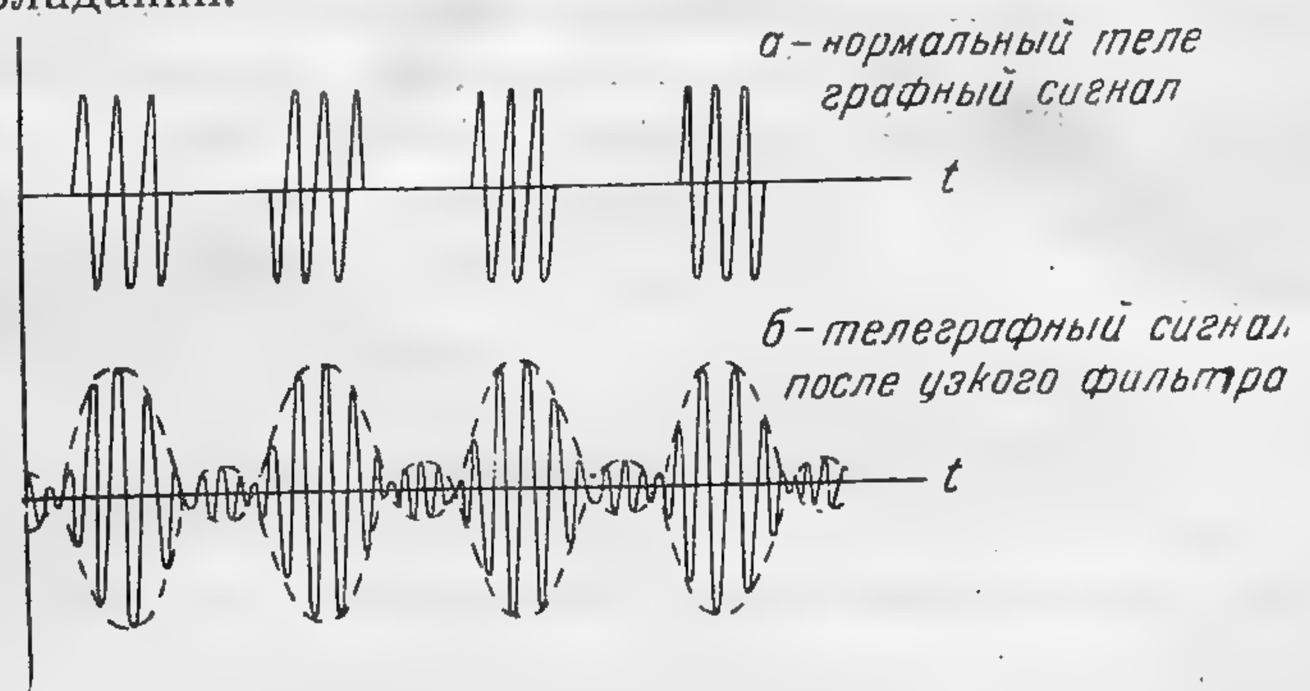


Рис. 2. Изменение формы телеграфного сигнала после узкополосного фильтра.

Влияние недостаточной стабильности частоты передатчика может быть устранено введением автоматической подстройки частоты на приёмнике или применением таких возбудителей передатчика и гетеродинов приёмника, которые исключали бы быстрые изменения частот под влия-

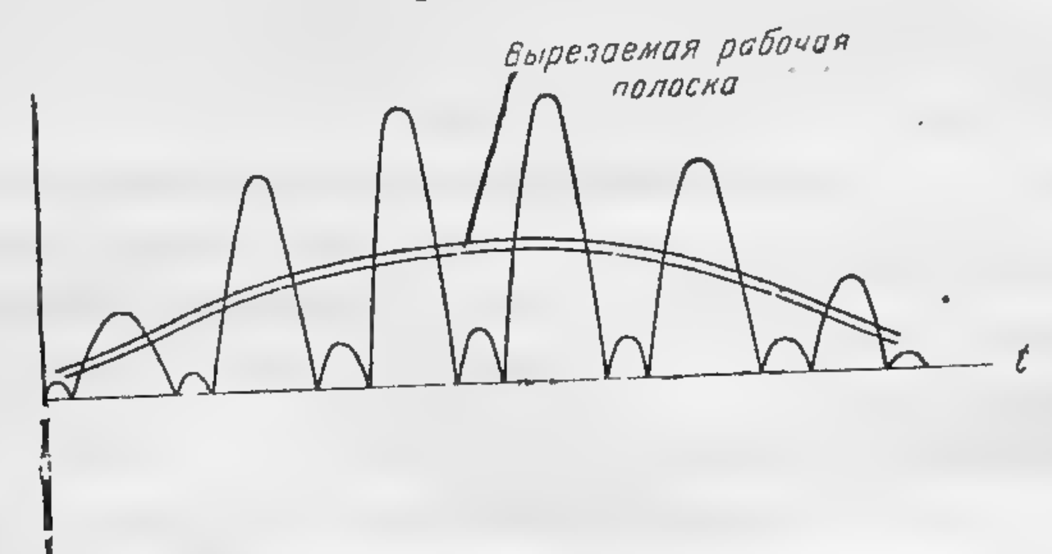


Рис. 3. Процесс формирования прямоугольного сигнала из сигнала закруглённой формы с переменной амплитудой.

нием внешних факторов. В этом случае эксплоатация узкополосных приёмных устройств потребует только несколько более частых подстроек приёмника.

Задачу преобразования закруглённого сигнала с переменной амплитудой в прямоугольный сигнал без преобла-

даний выполняет специальное выходное устройство, которое автоматически вырезает из сигнала узкую рабочую полоску на уровне, обеспечивающем отсутствие временных преобладаний. Если предварительно повысить напряжение сигнала и вырезать из него достаточно узкий рабочий участок, как это показано на рис. 3, то будет получен

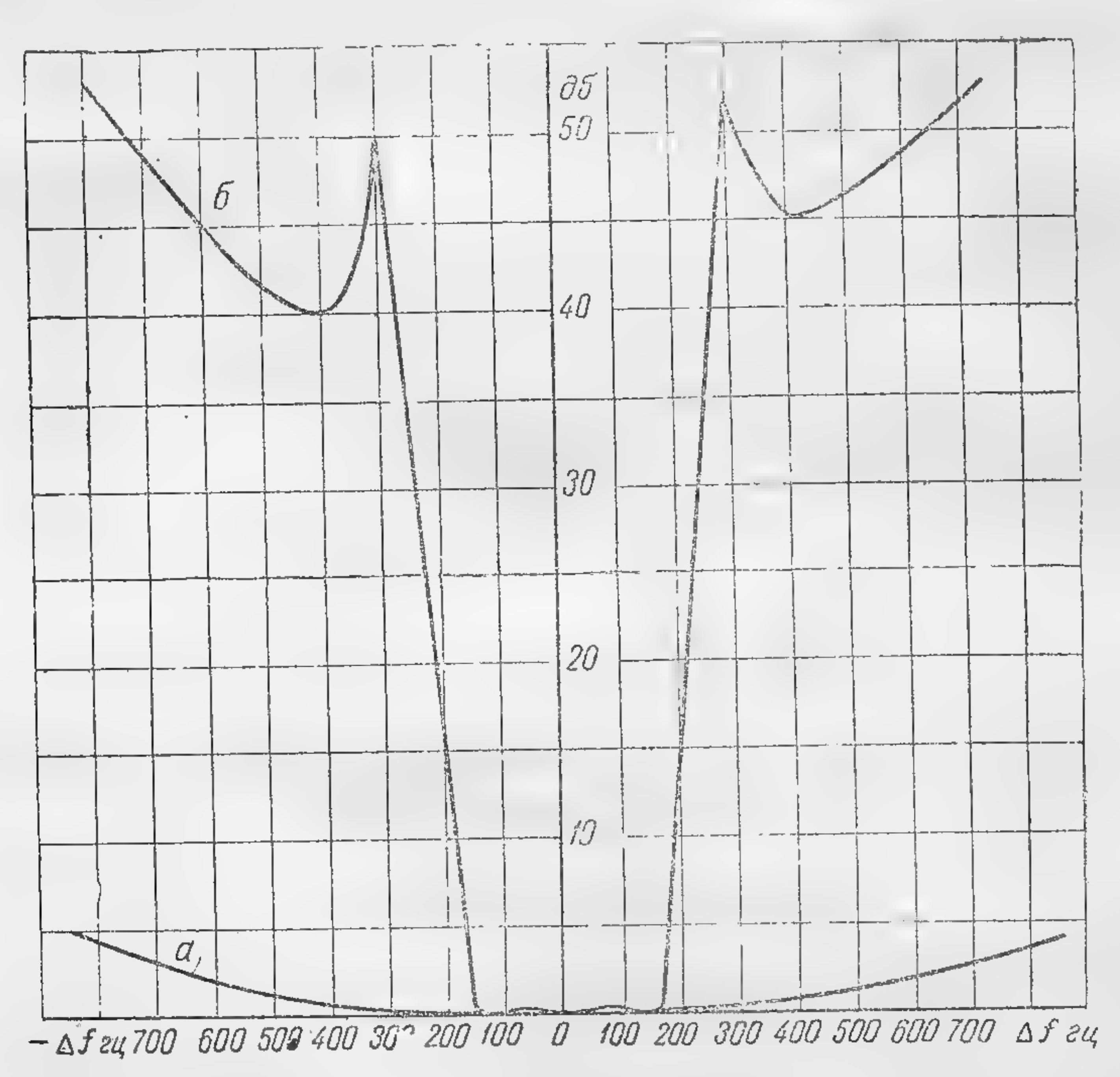


Рис. 4. Кривая избирательности приёмника КТФ-1 (*а*) и кривая избирательности узкополосного приёмника с кварцевым фильтром разработки ЦНИИС 1944 г. (*б*).

результирующий сигнал практически прямоугольной формы. Высотой, на которой располагается вырезаемая рабочая полоска относительно максимума сигнала, можно регулировать временное преобладание. Слишком высокое положение рабочей полоски даст отрицательное преобладание. Наоборот, при низком её положении временное преобладание будет положительным. Для нормальной работы необходимо, чтобы вырезаемая рабочая полоска

автоматически перемещалась при изменении уровня сигнала и всегда оставалась на уровне, равном, примерно, половине амплитуды огибающей сигнала.

Высокая избирательность в узкополосных приёмниках достигается применением кварцевых фильтров на промежуточной частоте. Получающаяся при этом кривая избирательности приведена на рис. 4*б*; для сравнения аналогичная кривая для типового приёмника магистральной связи КТФ-1 дана на рис. 4*а*.

Полоса пропускания приёмника с кварцевым фильтром равна, примерно, 320 *гц*, что вполне достаточно для работы со скоростью 350 слов в минуту. Полоса пропускания приёмника КТФ-1 при телеграфной работе равна, примерно, 1500 *гц*.

Как известно, уровень помех уменьшается пропорционально квадратному корню из отношения полос. Следовательно, при переходе от приёмника КТФ-1 к приёмнику с узкополосным фильтром можно получить ослабление помех в

$$\sqrt{\frac{1500}{320}} = 2,16 \quad \text{раза},$$

что позволит при прочих равных условиях уменьшить количество искажённых знаков в 4÷5 раз.

ЧАСТОТНАЯ МАНИПУЛЯЦИЯ

При обычной телеграфной работе передатчик в момент нажатия излучает полную мощность, в паузах же между сигналами никакого излучения нет. В случае передачи текста суммарное время нажатия составляет, примерно, половину от общего времени работы передатчика и, следовательно, в среднем, установленная мощность передатчика используется только наполовину. Стремление повысить использование передатчика привело к мысли заполнить паузы между знаками также полезным излучением и передавать в это время сигнал на другой частоте.

Получается принципиально новая система с активной паузой, в которой телеграфная манипуляция осуществляется изменением частоты, а излучаемая мощность остаётся постоянной.

Приёмник, предназначенный для приёма частотной

манипуляции, имеет два параллельных канала, настроенных на различные частоты. Если частота передатчика соответствует настройке первого, скажем, позитивного канала, то это вызывает срабатывание системы на нажатие. При изменении частоты передатчика сигнал попадает во второй—негативный канал, и вся система срабатывает на отжатие.

Помехи, действующие на приёмник, поражают в одинаковой степени как позитивный, так и негативный каналы.

Для того, чтобы осуществить приём частот нажатия и отжатия, необходимо в два раза расширить эффективную полосу пропускания приёмника. Такое расширение полосы приводит к возрастанию средней мощности помех также в два раза и, следовательно, возрастание средней излучаемой мощности на передатчике целиком поглотится ростом помех. Таким образом, система частотной манипуляции для искусственного статического состояния не даёт тех выгод, которые от неё можно было ожидать.

Правда, в условиях реальной радиосвязи ни сигнал, ни помехи не имеют постоянного уровня и сигнал относительно не часто и на непродолжительное время спускается до уровня помех, когда запись делается невозможной.

Выясним возможность ложного срабатывания системы, например, в момент нажатия, когда в позитивном канале действуют сигнал плюс помехи, а в негативном только помехи.

Очевидно, ложное срабатывание может произойти только в том случае, если выпрямленное напряжение, создаваемое в негативном канале помехой, превысит выпрямленное напряжение, создаваемое совместным действием сигнала и помехи в позитивном канале. Для этого необходимо, чтобы в данный момент напряжение сигнала было минимальным, а напряжение помехи в обоих каналах максимальным. В других случаях вероятность ложного срабатывания ничтожна.

Таким образом, ложное срабатывание в системе с частотной манипуляцией происходит в момент одновременного действия трёх неблагоприятных факторов, тогда как в обычной телеграфной системе для этого достаточно иметь минимальное значение сигнала и максимальное значение помехи.

Поскольку вероятность совмещения трёх независимых событий значительно ниже вероятности совмещения двух, можно утверждать, что вероятность ложного срабатывания в системе с частотной манипуляцией существенно меньше, чем в обычной телеграфной системе. Например, если при обычном способе телеграфирования число искажённых знаков составляет 1% от их общего количества, то при частотной манипуляции для тех же условий искажёнными оказываются только 0,1% знаков.

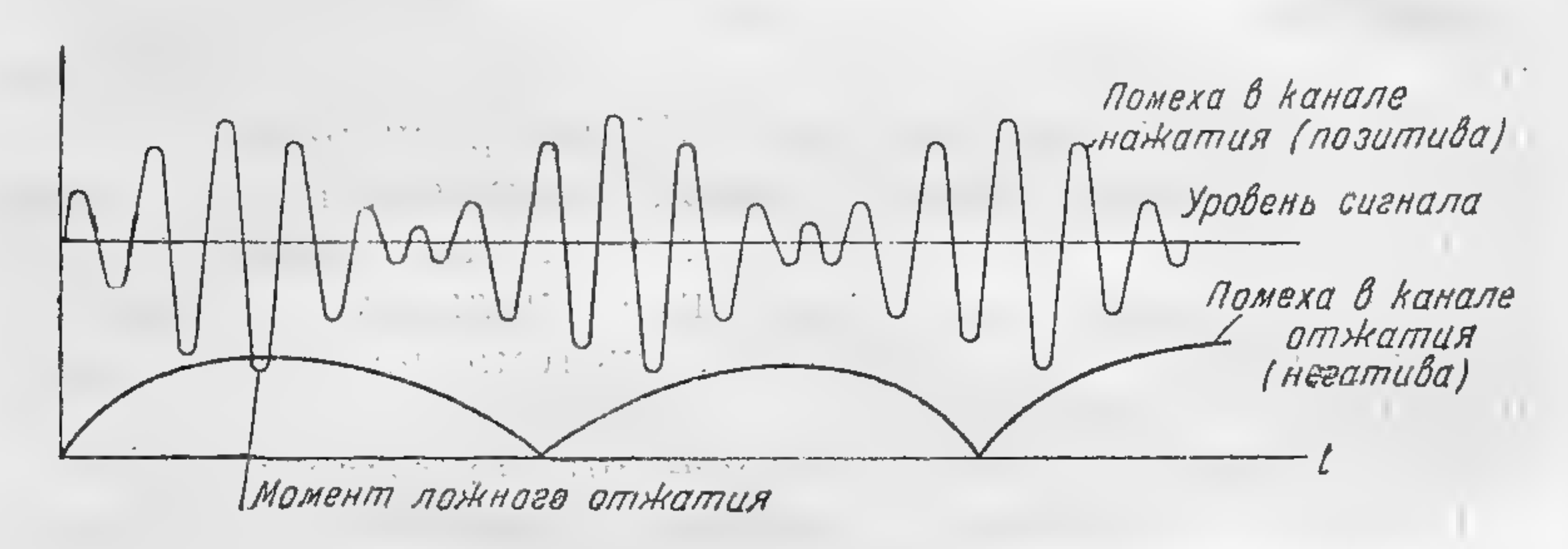


Рис. 5. Ложное срабатывание в результате совместного действия помех в негативном и позитивном каналах.

Рисунок 5 приближённо иллюстрирует момент ложного срабатывания в предположении, что уровень сигнала поддерживается постоянным вблизи минимума, а помехи как в негативном, так и в позитивном каналах представляют собой, примерно, синусоидальные колебания. Как видно из рисунка, на протяжении рассматриваемого отрезка времени возможно только одно ложное срабатывание несмотря на то, что помехи в обоих каналах три раза достигают максимума.

МНОГОТОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

В многотональных системах передатчик модулируется несколькими тонами, в простейшем случае двумя, изменение которых производится в процессе телеграфной манипуляции. При этом мощность, излучаемая передатчиком, уменьшается в 4 раза, т. е. передатчик ставится в телефонный режим. Вызываемое этим уменьшение напряжённости поля сигнала в 2 раза не является существенным недостатком, так как выигрыш, получаемый за

счёт других преимуществ, перекрывает эту потерю. Некоторое расширение полосы частот в эфире также нельзя отнести к существенным недостаткам.

Блок-схема передающей части простейшей многотональной системы показана на рис. 6. На достаточно стабильный генератор низкой частоты *1* воздействует устройство *2*, изменяющее его частоту, например реле, изменяющее параметры колебательного контура генератора. В результате этого воздействия генератор при нажатии даёт частоту F_1, а при отжатии частоту F_2. С выхода генератора *1* колебания попадают на каскад удвоения звуковой частоты *3* и разделительный усилительный каскад *4* и далее

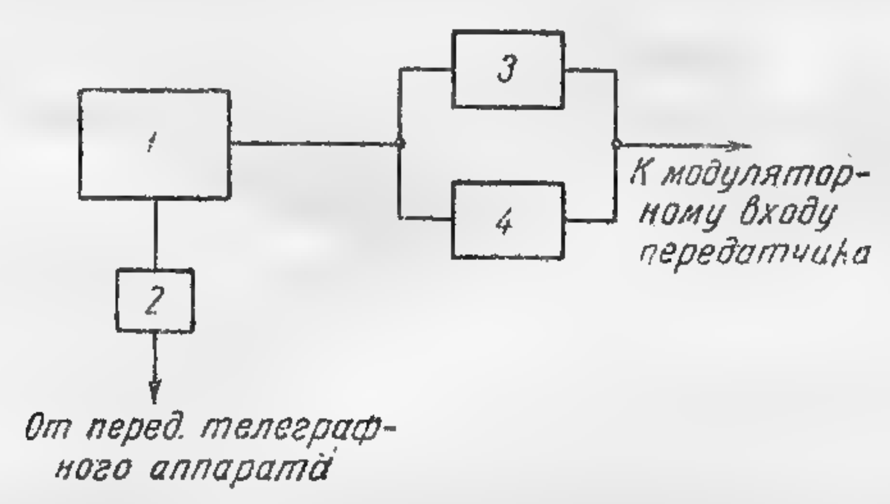


Рис. 6. Блок-схема передающего устройства многотональной работы.

подаются на передатчик. Таким образом, передатчик при нажатии модулируется группой частот F_1 и $F_2=2F_1$ и при отжатии группой частот F'_1 и $F'_2=2F'_1$. Модифицируя схему, можно вместо одного генератора применить два генератора на фиксированные частоты и поочерёдно производить их подключение.

В простейшем случае можно работать только одним тоном нажатия F_1 и одним тоном отжатия F'_1.

Блок-схема приёмного устройства показана на рис. 7.

Тональные сигналы поступают на вход устройства *1*, представляющего собой комбинированный усилитель-удвоитель. Задача этого устройства состоит в том, чтобы частоты F_1 и F'_1 удвоить, а частоты $2F_1$ и $2F'_1$ —усилить. Таким образом, на выходе комбинированного усилителя-удвоителя вместо гаммы частот будут существовать только две частоты $2F_1$ и $2F'_1$.

Если избирательных замираний нет, то на выходе получается частота $2F_1$ или $2F'_1$, причём каждая из них

является продуктом двух частот (F_1 и $2F_1$ первая и F'_1 $2F'_1$ — вторая). При наличии замираний несущей частоты на входе появляются двойные частоты $2F_1$ или $2F'_1$, которые усиливаются комбинированным устройством; на выходе попрежнему будут существовать частоты $2F_1$ и $2F'_1$, т. е. искажений не произойдёт.

Пройдя узкополосные низкочастотные фильтры *2* и *2'* на частоты $2F_1$ и $2F'_1$ с шириной полосы, соответствующей скорости телеграфирования и телеграфному коду, тональные сигналы попадают на ограничители по максимуму *3* и *3'*. С выхода ограничителей сигналы нажатия и отжатия поступают на усилители канала нажатия *4* и канала отжатия *4'*. Оба канала связаны через усилители так, что осуществляется их «перекрёстное запирание», значительно повышающее защиту от помех. При наличии сигналов нажатия напряжение этого канала запирает усилитель канала отжатия; следовательно, помеха не сможет воздействовать на этот канал, и не вызовет ложную паузу или искажение сигнала. При наличии сигнала отжатия аналогично запирается усилитель канала нажатия.

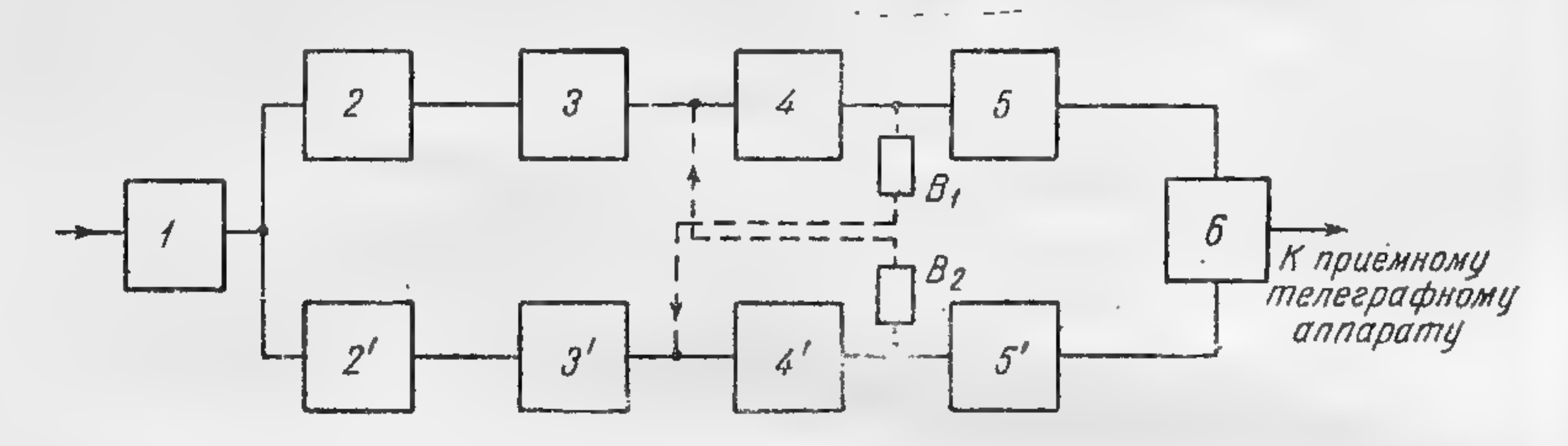


Рис. 7. Блок-схема приёмного устройства многотональной работы.

Перекрёстное запирание осуществляется подачей на сетки усилительных ламп запирающих напряжений, получаемых от выпрямителей B_1 и B_2.

На выходе усилителей включены выпрямители тональных сигналов *5* и *5'*, одновременно являющиеся ограничителями по минимуму (для срезания незначительных по величине помех). Реле *6* включено по диференциальной схеме и срабатывает в разные стороны, в зависимости от того, с какого канала поступает сигнал.

Частоты нажатия и отжатия находятся в кратных отношениях; это сделано для того, чтобы избирательные

замирания одной или двух компонент модулированной волны не приводили к искажениям тональных сигналов. Особенно опасным является полное затухание несущей частоты f_0, так как оставшиеся боковые частоты f_0+F и f_0-F дают после детектирования двойную частоту.

Многотональные системы характеризуются следующими основными преимуществами:

1. Применение двух или большего количества тональных частот позволяет уменьшить вероятность избирательных искажений. В разобранном примере в передаче сигнала участвует 5 переносчиков: 1 несущая и 4 боковых частоты. Если произойдёт замирание части переносчиков,

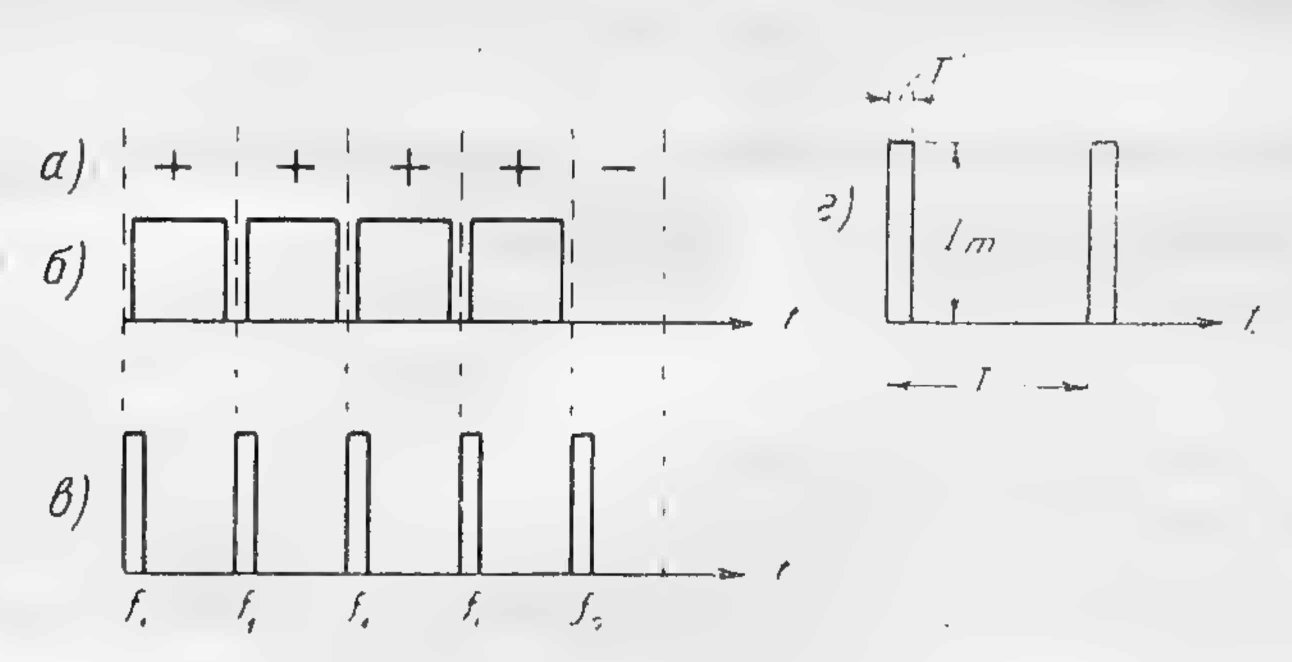


Рис. 8. Принцип передачи при импульсной работе.

то благодаря применению комбинированного усилителя-удвоителя, а также кратному выбору группы частот, оставшиеся переносчики в подавляющем большинстве случаев обеспечат приём.

2. Приём частотно-манипулированных сигналов даёт известный выигрыш в отношении помех, подобно тому, как это бывает при обычной частотной манипуляции. Применение перекрёстного запирания дополнительно повышает выигрыш, т. е. делает работу более устойчивой.

3. Узкая полоса частот при манипуляции (порядка 200 *гц* при работе 9-кратного Бодо на радио) позволяет значительно сузить полосу частот всего устройства и тем самым существенно снизить влияние помех.

4. Манипуляция на поднесущей производится более простым способом, чем при частотной телеграфии, а стабильность несущей частоты получается высокой,

Сочетание многотональной системы с приёмно-передающими устройствами, работающими на одной боковой полосе, даёт дополнительный выигрыш. Так как при работе модулированными колебаниями на одной боковой полосе несущая и вторая боковая частоты подавляются на передатчике и вся энергия излучения сосредоточивается в одной полосе, то на месте приёма получается выигрыш по напряжению в 2 раза (при той же номинальной мощности передатчика и при 100-процентной модуляции). Этим покрывается проигрыш, обусловленный использованием передатчика в телефонном режиме. Кроме того, работа на одной боковой полосе вдвое уменьшает полосу частот, излучаемых передатчиком.

ИМПУЛЬСНАЯ СИСТЕМА РАДИОТЕЛЕГРАФИРОВАНИЯ

Принцип построения импульсной системы радиотелеграфирования рассмотрим на конкретном примере, применительно к передаче буквы «Д» (рис. 8), состоящей из четырёх посылок одного знака (нажатие) и одной посылки противоположного знака (отжатие).

При обычной радиотелеграфии посылки сигналов следуют одна за другой, как показано на рис. 8*б*, и сигналы в эфире будут иметь «сплошной» характер.

При импульсной работе передаются лишь начало и конец каждой посылки (рис. 8 *в*), причём посылки нажатия передаются на частоте f_1, а посылки отжатия на частоте f_2. Дискриминатор, имеющийся в приёмном устройстве, преобразует эти импульсы в импульсы постоянного тока, причём импульсам частоты f_1 соответствует один знак, а импульсам частоты f_2 — противоположный. Включённое далее электронное реле «спускного» действия преобразует эти импульсы в сплошные сигналы нормальной длительности, которые поступают на рабочее реле телеграфного аппарата.

Расход мощности при импульсной работе меньше, чем при обычном телеграфировании, так как мощность потребляется лишь в продолжение коротких промежутков времени пока действует импульс. Если потребляемую мощность оставить неизменной, то можно увеличить амплитуду импульсов во столько раз, во сколько ширина импульса T' (рис. 8*г*) меньше интервала между импуль-

сами T. Применение специальных импульсных ламп, допускающих большое анодное напряжение и дающих необходимый ток эмиссии, позволяет получить импульсное умощнение передатчика в K раз, где $K=\frac{T}{T'}$. Такое умощнение повышает напряжённость поля сигнала на месте приёма в $\sqrt{K}$ раз.

Переход к импульсной работе несколько увеличивает ширину спектра в эфире, однако, выбирая K в пределах от 10 до 30 и несколько ограничивая спектр на приёме, удаётся всё же получить выигрыш (несколько меньший $\sqrt{K}$), не увеличивая существенно помех на соседний канал.

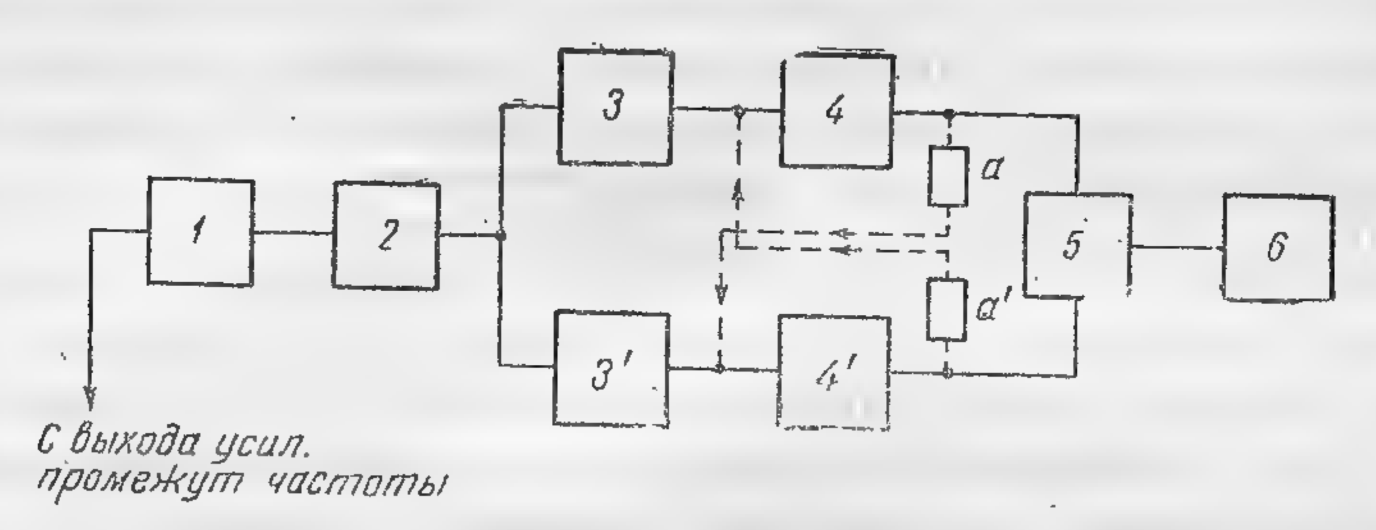


Рис. 9. Блок-схема приёмного устройства импульсной работы.

При 9-кратном Бодо с учётом некоторого расширения полосы на приёме импульсное умощнение при $K=10$ даёт выигрыш в 2,87 раза, при $K=20$ в 3,40 раза и при $K=30$ в 3,63 раза. Как показали предварительные исследования, умощнение до $K=30$ не встречает принципиальных затруднений. Преимуществом импульсной системы является также и то обстоятельство, что она позволяет уменьшить влияние замираний и помех. Продолжительность импульса обычно бывает порядка десятых долей миллисекунды, т. е. меньше промежутка времени между приходом к антенне нескольких лучей. Поэтому всегда будет принят только один луч, так как раньше, чем успеет притти следующий луч, сработает реле «защёлка». По этой же причине на импульсную работу меньше влияет радиоэхо.

Приёмное устройство по своей блок-схеме (рис. 9) аналогично применяемому при частотном телеграфировании. Оно содержит ограничители по максимуму *1* и минимуму

2; фильтры дискриминатора 3 и 3′; запираемые усилители-выпрямители 4 и 4′ каналов f_1 и f_2, реле «защёлку» 5 и рабочее реле 6 телеграфного аппарата. Перекрёстное запирание осуществляется по принципу автостопа, т. е. запирающее напряжение, подаваемое на усилители-выпрямители, действует от импульса продолжительностью T' в в течение времени, равного интервалу между импульсами. Так как импульсы рабочего канала так же, как и импульсы запирания, следуют друг за другом через равные интервалы времени, то при работе одного канала другой канал оказывается запертым.

В импульсной системе помеха сказывается лишь тогда, когда она действует одновременно с импульсом или когда преимущественная частота помехи попадает в частотную полосу сигнала. Таким образом, вероятность поражения сигнала помехой значительно уменьшается. Так, при $K=10 \div 30$ вероятность поражения в импульсной системе будет в $5 \div 9$ раз меньше, чем в обычной системе. Уменьшение вероятности поражения можно рассматривать как эквивалентное понижение необходимого уровня сигнала, т. е. как повышение устойчивости к помехам. Воспользовавшись теорией вероятности, нетрудно показать, что при $K=10,0$ это обеспечит выигрыш по напряжению в 2,8 раза, а при $K=20,0$ в 3,4 раза.

Общий выигрыш, даваемый системой с учётом импульсного умощнения и с поправкой на проигрыш за счёт некоторого расширения полосы приёмника, для $K=10,0$ оценивается цифрой 8,0, а для $K=20,0$ цифрой 11,5, т. е. в среднем получается выигрыш в 10,0 раз, что эквивалентно увеличению мощности передатчика в 100 раз. Значительное ослабление влияния замираний также можно рассматривать как эквивалентное повышение напряжённости поля сигнала.

МНОГОКРАТНЫЕ СИСТЕМЫ

Сочетание некоторых принципов помехоустойчивых систем с принципом многократного использования передатчика может существенно повысить устойчивость радиотелеграфирования. Не рассматривая способов осуществления многократных систем, отметим, что все они, в частности, характеризуются коэфициентом, определяющим потерю мощности, приходящейся на один канал, за счёт вве-

дения многократности. Этот коэфициент является функцией числа каналов и зависит от выбранной системы многократного использования. Для ряда систем коэфициент, характеризующий потери, численно равен числу каналов, для некоторых, в которых потери мощности нет, он равен единице.

Если телеграфный поток, который обеспечивается при однократной работе скоростью передачи w_1, передать по N каналам, то скорость передачи в каждом канале будет равна $w_N = \frac{w_1}{N}$. Так как устойчивость к помехам возрастает обратно пропорционально скорости, то уменьшение скорости в N раз даёт выигрыш для каждого канала также равный N. Проигрыш в напряжённости поля вследствие потери мощности на канал равен $\sqrt{N}$, следовательно, выигрыш за счёт перехода на многократку составит $\frac{N}{\sqrt{N}} = \sqrt{N}$. Например, при трёхкратной работе будет получен выигрыш в 1,73 раза, что равносильно увеличению мощности передатчика в 3 раза. Этот выигрыш следует рассматривать как дополнительный к выигрышу, даваемому другими системами, с которыми сочетается принцип многократной работы.

СИСТЕМЫ С ПОВТОРЕНИЕМ

Системы с повторением находят применение на радиотелеграфных связях, оборудованных буквопечатающими приёмными устройствами, при которых искажение одной посылки приводит к искажению целой буквы. Чтобы обеспечить надёжную работу буквопечатающей аппаратуры, в системах с повторением каждая посылка, соответствующая передаваемой букве, повторяется несколько раз. На месте приёма буква отпечатывается не после каждой передачи, а лишь после того как будут переданы все (обычно три) повторения. До этого импульсы накапливаются в автоматическом накопителе, который может быть как механический, так и электрический (конденсаторный). Если при повторениях хотя бы один раз будут приняты все входящие в букву посылки, то буква отпечатается правильно и вероятность сбоя значительно уменьшится. Для повышения устойчивости связи и для устранения влияния дли-

тельных замираний передача повторяемых букв производится с некоторым интервалом, в течение которого передаются другие буквы.

Обычно системы с повторением оборудуются аппаратурой типа Бодо и работают пятизначным кодом. Пример передачи буквы «И» по коду Бодо с тремя повторениями показан на рис. 10, где тире обозначает наличие заряда в ёмкостном накопителе, а «О» — его отсутствие. Как видно из рисунка, суммарный сигнал соответствует переданной

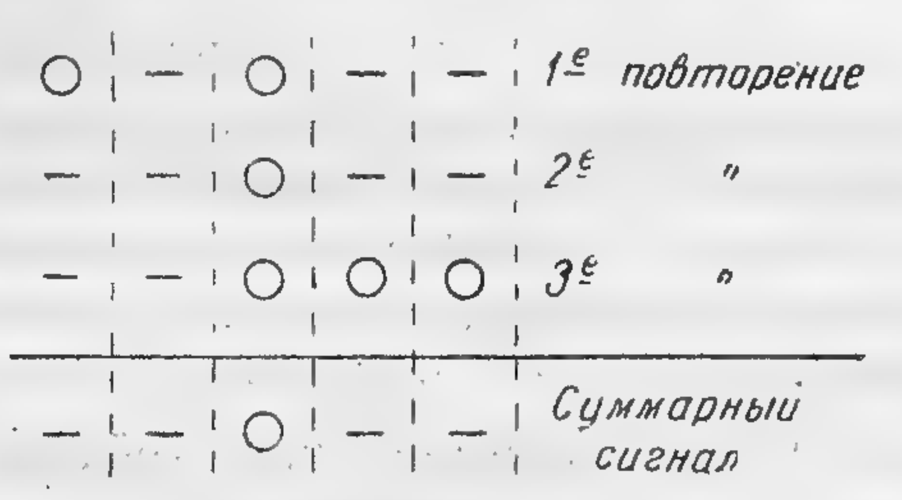


Рис. 10. Принцип работы с повторением знака.

букве «И», несмотря на то, что в двух случаях она была принята с искажениями.

Теория вероятности показывает, что если при обычной передаче искажаются, например, 10% всех переданных знаков, то при трёхкратной передаче число искажённых знаков снижается до 0,16%, а если искажается 1% знаков, то процент искажений соответственно снижается до 0,0052%.

Недостатком описанной системы является несколько меньшая производительность по сравнению с системой без повторений. Поэтому её целесообразно сочетать с импульсной передачей, так как это позволит не только повысить производительность за счёт увеличения крат, но и обеспечит большую устойчивость за счёт защитных свойств импульсного метода.

Кроме метода повторений, уменьшающего вероятность написания телеграфного знака, существуют методы, уменьшающие процент поражаемости знака. При этом общее искажение знака становится несущественным. Такими системами являются фототелеграфная система и система Сименс-Хелл.

В фототелеграфной системе каждая строчка текста при «прочитывании» фотоэлементом получается разделённой на 8÷10 горизонтальных полос (рис. 11). Искажение (выпадение) отдельных элементов букв, заключённых в эти полосы, не изменит характерного вида буквы. Фототеле-



Рис. 11. Передача текста фототелеграфным методом.

графная передача происходит относительно медленно и требует сравнительно сложной оконечной обработки телеграмм.

Гораздо более совершенной является система Сименс-Хелл, построенная на принципе передачи стандартных изображений — букв, знаков, цифр. В этой системе пере-

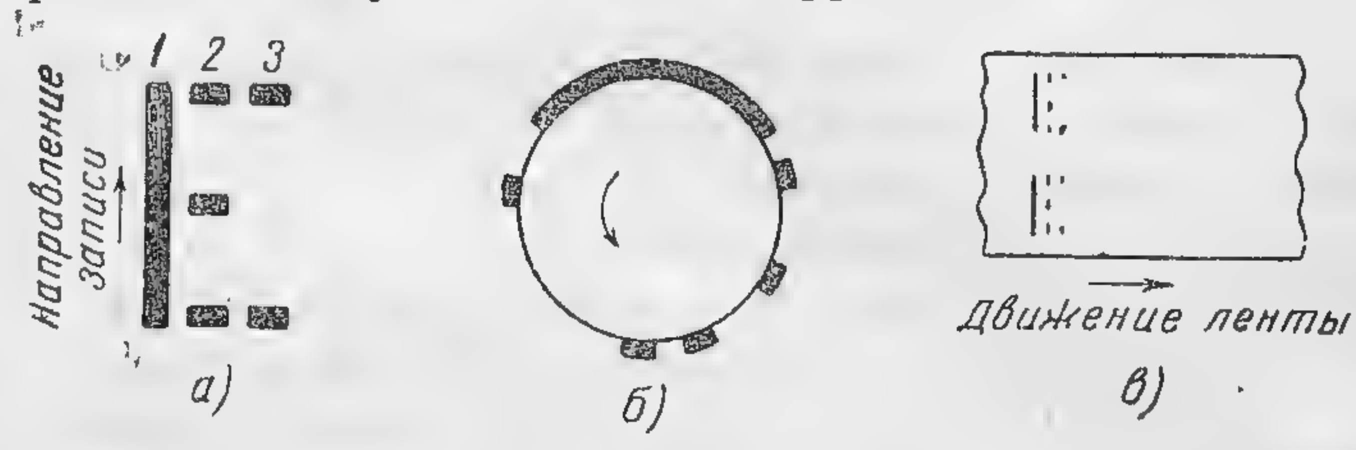


Рис. 12. Принцип работы аппарата Сименс-Хелл.

дача каждой буквы производится особым диском с контактными выступами, расположение которых зависит от строения передаваемого знака. Например, буква Е в простейшем случае может быть построена из 6 посылок (рис. 12*а*), соответственно которым следует расположить контактные выступы её передающего диска (рис. 12 *б*). Нажатие на присвоенную букве клавишу приводит её диск во вращение и опускает контактный рычаг, расположенный над диском. Вращаясь, выступы диска последовательно замыкают контакты этого рычага и производят по-

сылку импульсов. Передача производится со скоростью до 5 букв в секунду.

В приёмном аппарате поступательное движение ленты согласовано с вращением спирального печатающего винта, расположенного поперёк её; при полном обороте винта бумага передвигается на ширину элементарного поля. Рычаг приёмного электромагнита под влиянием приходящих импульсов прижимает ленту к спиральному винту, ребро которого даёт штриховой отпечаток элемента буквы. По мере вращения винта эти отпечатки смещаются поперёк ленты и образуют изображение принятого знака (рис. 12*в*). Синхронизация передающего и приёмного аппаратов не сложна и производится в процессе приёма. Даже при неточной регулировке синхронизма текст обычно оказывается принятым, так как каждый знак отпечатывается на ленте дважды (один под другим), и одна из букв всегда воспроизводится.

Сочетание аппарата Сименс-Хелл с передачей на поднесущих частотах (работа с активной паузой), в частности, многотональная работа, должно обеспечить чрезвычайно устойчивую связь.

Рассмотренные принципы построения помехоустойчивых систем следует рассматривать во взаимном сочетании. Можно, например, сочетать частотную телеграфию с импульсной и с принципом накопления сигналов — это даст высокую устойчивость на длинных линиях связи. Многотональные системы в сочетании с фототелеграфной передачей стандартных знаков обеспечивают чрезвычайно устойчивую связь и вследствие своей простоты должны найти широкое применение на линиях малой и большой протяжённости. Многократное использование передатчика, как дополнение к другим помехоустойчивым системам, также должно получить дальнейшее развитие. Преимущества той или иной системы или их сочетания подлежат уточнению в процессе экспериментальных и практических проверок. Несомненно, что бурное развитие радиотехники и её дальнейший рост обусловят появление новых принципов и методов построения высокоустойчивых радиотелеграфных систем.

Акад. Б. А. ВВЕДЕНСКИЙ

Канд. техн. наук Ю. И. КАЗНАЧЕЕВ

УЛЬТРАКОРОТКИЕ ВОЛНЫ

ИЗ ИСТОРИИ УКВ[1]

В переживаемой эпохе развития радиотехники преимущественное применение находят обычные технические средства радиосвязи на длинных, средних и коротких волнах, но в то же время прогресс техники укв властно требует широкого практического использования этого нового диапазона.

Уже теперь укв дают такое мощное оружие борьбы как радиолокация, позволяющее издалека обнаружить вражеские самолёты и корабли и вести по ним прицельную стрельбу в отсутствии видимости. Поставленный в предвоенные годы вопрос о практическом использовании укв, пройдя горнило военных испытаний, ныне удачно разрешён. Нашли применение диапазоны укв, практическое освоение которых ещё недавно рисовалось делом весьма далёкого будущего.

Освоение диапазона укв является завершением определённого цикла развития радиотехники. Основные этапы этого развития, подготовившие почву для внедрения укв, представлены на рис. 1.

Возможность свободного распространения электромагнитных волн, предвиденная Фарадеем и теоретически обоснованная Максвеллом, была экспериментально дока-

---

[1] Согласно решению МККР ультракороткими волнами (укв) называются все волны короче 10 *м*; физически целесообразно считать за укв волны, не преломляющиеся ионосферой, т. е. короче, примерно, 6 *м*

зана в 1888 г. Генрихом Герцем и именно в том диапазоне волн, который ныне именуется укв.

А. С. Попову, продемонстрировавшему в 1895 г. первый в мире приёмник, первому удалось в начале 1896 г. осуществить радиопередачу. Им были переданы слова «Генрихъ Герцъ», чем Александр Степанович выразил своё глубочайшее уважение к заслугам Герца. Первые свои радиопередачи А. С. Попов, несомненно, осуществлял в том диапазоне, который ныне именуется укв-диапазоном.

Вскоре после своего возникновения радиотехника ушла в сторону всё более и более удлиняющихся волн. Инте-

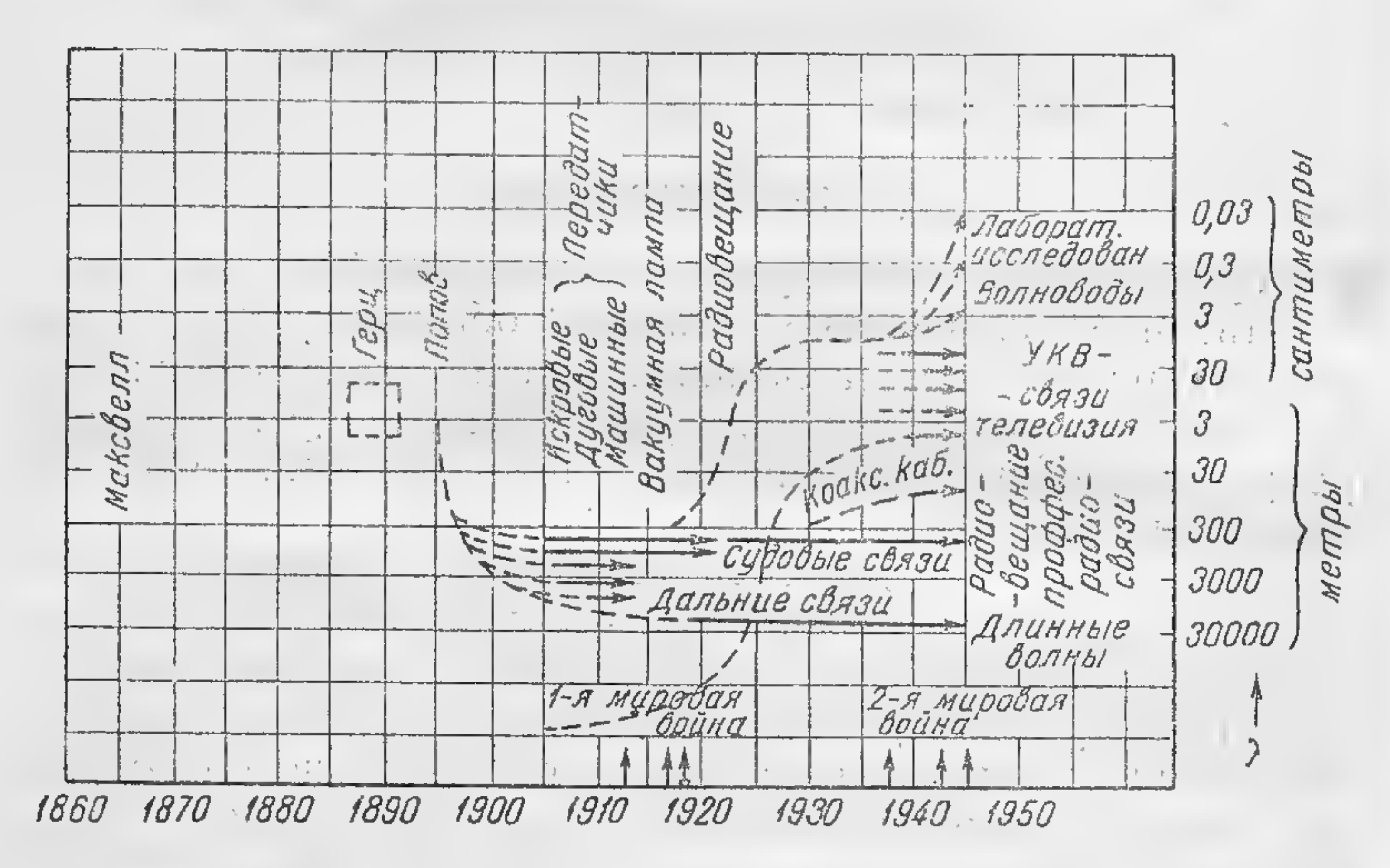


Рис. 1. Этапы развития радиотехники.

рес ко всем остальным диапазонам, в том числе и к теперешнему диапазону укв, упал до минимума. Велись только отдельные спорадические, разрозненные работы в этом диапазоне, преследующие исключительно радиофизические цели (работы П. Н. Лебедева по электрооптике, отдельные работы по исследованию прохождения электромагнитных волн в трубчатых проводниках, исследования диэлектрических и магнитных тел и некоторые другие).

С внедрением электронной лампы радиотехника вступает в период очень быстрого развития. Появляется воз-

можность генерировать незатухающие укв и интерес к ним возрождается с новой силой. К началу 1940 г. оказались практически освоенными все частоты до 150 *мггц* (длина волны 2 *м*), а в лабораторных условиях велись уже удачные передачи на волне в 3 *см*.

Герц проводил свои опыты в диапазоне укв от нескольких метров до 30 *см*. После длительного периода использования более длинных волн техника вновь пришла к укв, но на более высоком уровне, открывающем новые, исключительно широкие перспективы. Это является весьма наглядным и убедительным примером диалектического закона развития.

ОСОБЕННОСТИ УКВ

Недопонимание законов оптики возбудило вначале примитивное представление о способности укв распространяться лишь в пределах прямой видимости.

Однако, ряд экспериментальных и теоретических исследований (советские теоретические работы здесь имеют приоритет) показал, что укв распространяются и за горизонт, но что напряжённость поля в этой области падает значительно быстрее с увеличением расстояния от передатчика, чем в зоне прямой видимости, и тем быстрее, чем короче длина волны.

Рисунок 2 иллюстрирует условия распространения укв в зоне, прилегающей к горизонту, и в области тени. Как видно из этого рисунка, на метровых волнах можно установить связь с пунктом, находящимся довольно далеко за пределами прямой видимости, что подтверждается и опытом. Так, приём нью-йоркского телевизионного передатчика (волна в 6,7 *м*) осуществляется регулярно в Скенектеди на расстоянии 167 *км;* приёмная антенна там ниже линии горизонта на 510 *м*. Также в США осуществлена регулярная связь на волне 90 *см* на расстоянии в 187 *км*. Радиус действия вещательных укв-передатчиков мощностью в 10 *квт* принято считать равным 100÷150 *км;* при размещении передатчиков на возвышенностях радиус действия увеличивается до 200÷300 *км*. В наиболее ответственных случаях связи на укв, как например, при передаче с ретрансляциями, длина участка связи выбирается равной 40÷60 *км*, но при этом мощности ретрансляционных передатчиков составляют всего доли ватта.

До тех пор пока радиотехника интересовалась, главным образом, вопросом преодоления расстояний, ограниченность радиуса действия укв являлась их решающим недостатком. Но во второй фазе развития всё большее значение начало приобретать и увеличение количества каналов

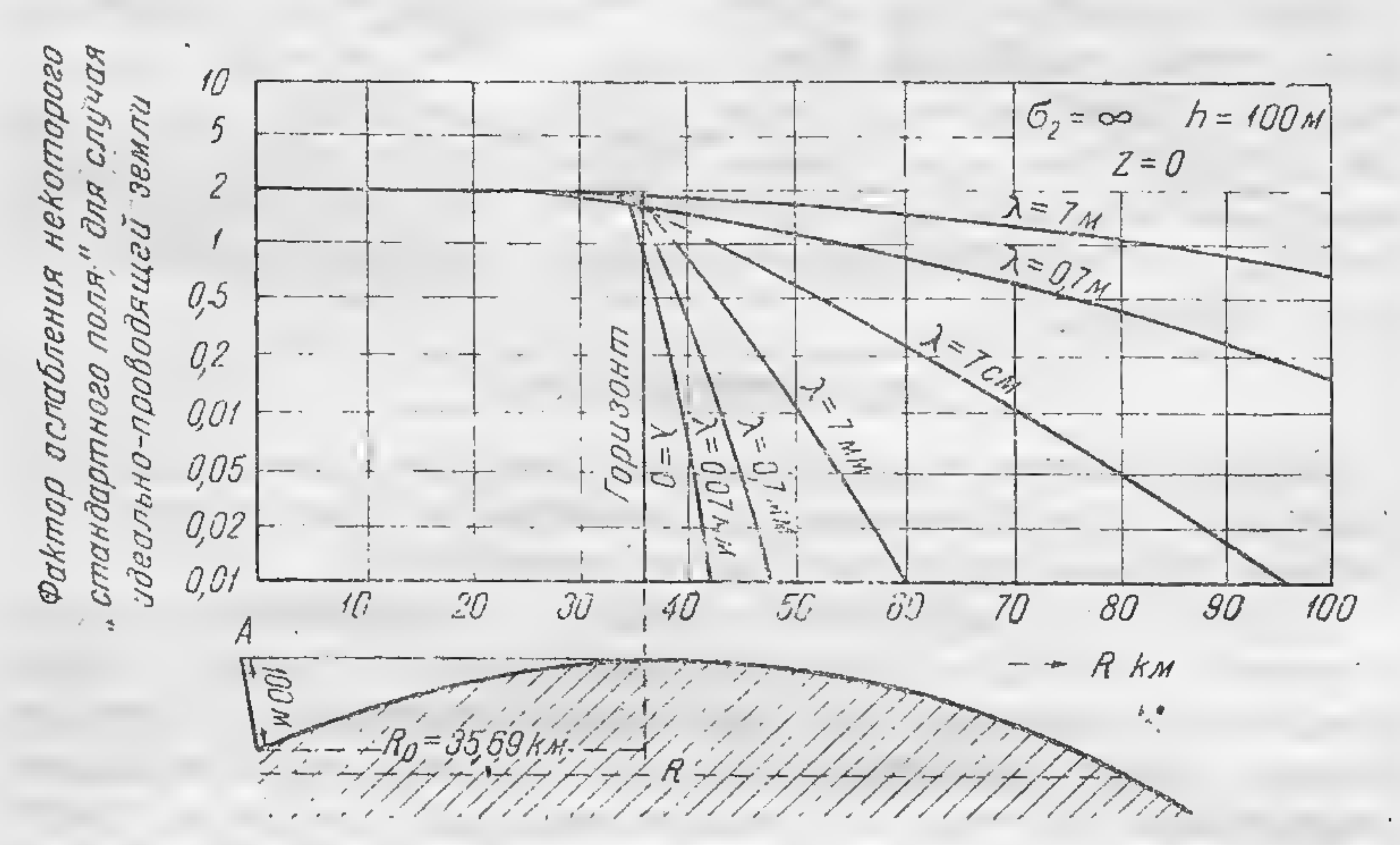


Рис. 2. Изменение напряжённости поля укв за горизонтом.

связи, улучшение их качественных параметров и повышение устойчивости связи. Это сугубо увеличило интерес к укв.

Разрешение вопроса о количестве каналов, возможном в данном диапазоне волн, зависит прежде всего от ёмкости этого диапазона. Емкость диапазона укв огромна. Действительно, если во всём диапазоне длинных, средних и коротких волн могут быть размещены 3000 телефонных каналов или всего несколько телевизионных каналов, то в диапазоне укв от 10 *м* до 3 *см* можно разместить 1 000 000 телефонных или 1500 телевизионных каналов!

По мере повышения требований к радиосвязи недостаток укв — ограниченность радиуса действия — перешёл в свою противоположность и в настоящее время является крупным преимуществом, обеспечивающим возможность многократного использования диапазона укв и защиту от внешних помех естественного и искусственного происхождения.

Появляется возможность организации в диапазоне укв практически неограниченного количества каналов связи и создания системы связи с исключительно высокими качественными показателями. Связи на укв (по крайней мере на волнах короче 5—6 *м*) могут рассматриваться как изолированные от не слишком близко расположенных источ-

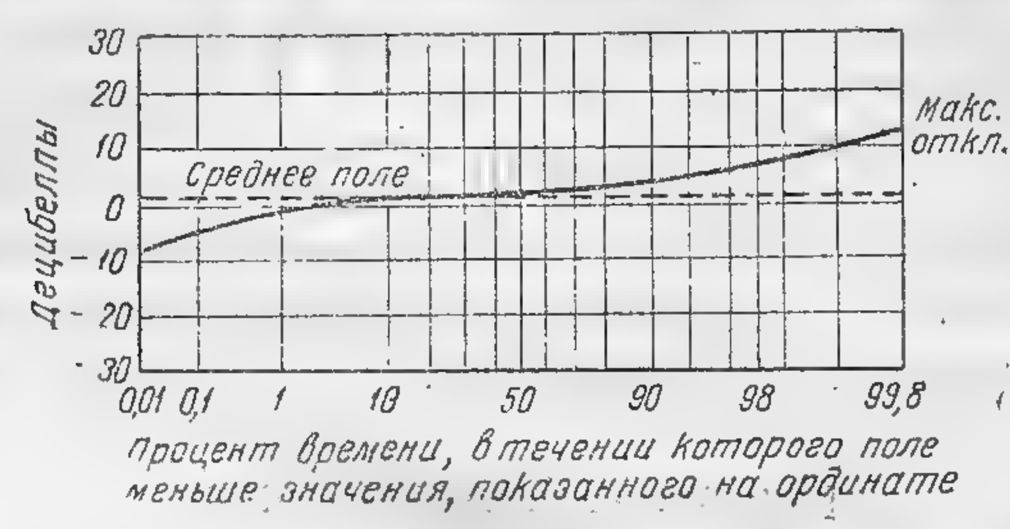


Рис. 3. График стабильности поля укв.

ников помех, что имеет большое оборонное значение. Применение узконаправленных антенн не только экономит мощность укв-передатчика, но и создаёт дополнительную защиту от внешних помех.

Типичным источником помех на укв являются системы зажигания самолётов, автомобилей, тракторов и т. д. Но опыт показал, что достаточно отнести приёмную антенну на расстояние порядка 500 *м* от этих источников помех, чтобы их влияние было значительно ослаблено. Всё же для гарантии качества и устойчивости связи на укв должны быть приняты необходимые меры предосторожности.

Свойство органической неустойчивости связей на средних или коротких волнах никак не распространяется на укв, связи на которых по своей эксплоатационной стабильности в силу полной свободы от влияния ионосферы и незначительности влияния тропосферы на расстояниях в 50÷60 *км* не уступают лучшим кабельным связям. Американские экспериментальные исследования условий распространения укв на участке длиной около 60 *км* (в зоне прямой видимости) показали, что отклонения напряжённости поля на 5 *дб* наблюдались только в течение 0,1% времени опытов, длившихся около двух лет. График, ил-

люстрирующий распределение по времени отклонений поля укв от среднего значения, представлен на рис. 3.

Все три основные особенности укв, как средства связи — огромная ёмкость диапазона, изолированность связей и высокая эксплоатационная устойчивость — принесли бы лишь ограниченную пользу, если бы с помощью укв не удалось реализовать дальней связи, которая необходима и для передачи на далёкие расстояния телевизионных программ (требуется канал до 8 *мггц*) и для одновременной передачи большого количества вещательных программ и для передачи многократной телефонии. Но к настоящему времени вопросы организации дальней укв-связи также можно считать практически разрешёнными, что неизмеримо увеличивает значение укв.

РАЗВИТИЕ ТЕХНИКИ УКВ

Несмотря на исключительные возможности диапазона укв его практическое освоение происходит довольно медленно. Рассмотрим в самых общих чертах трудности, которые при этом приходится преодолевать.

Освоение диапазона. В первых же исследованиях в области укв обнаружилось громадное влияние распределённых ёмкостей (витков и пр.) и индуктивностей (подводок и ёмкостей), в том числе и собственных междуэлектродных ёмкостей и индуктивностей вводов ламп; выяснилась большая роль цепей накала в смысле отсоса колебательной энергии; выявилась необходимость переоценки понятий «короткое замыкание», «заземление» и др.

Появились схемы с применением распределённых систем и двухтактные схемы, нейтрализующие влияние цепей накала. Начала применяться настройка цепей катода; были созданы первые схемы с заземлённой сеткой.

Наряду с этим стали появляться специализированные для целей укв трёхэлектродные лампы с уменьшенными до разумного предела размерами электродов и пониженными междуэлектродными ёмкостями.

Радикальный сдвиг в конструкции трёхэлектродных ламп, приведший к переходу на совершенно иные способы генерации волн дециметрового и сантиметрового диапазонов, начался с нейтрализации роли инерции электронов, двигающихся в лампе. Эта инерция электронов не позволяет

им двигаться в пространстве между электродами достаточно быстро, вследствие чего при очень высоких частотах они достигают анода в неправильной фазе. Это приводит либо к уменьшению кпд, либо даже к срыву колебаний.

Простое уменьшение междуэлектродных расстояний в желудёвых лампах позволяет при генерации получить волны длиной до 50 *см* и даже ниже, а в других аналогичных лампах (Самюэль, Н. Д. Девятков и др.) перекрыть почти весь диапазон дециметровых волн. Понятно, что мощности таких ламп невелики и возможности их применения ограничены.

Так называемые колебания в триодах с тормозящим полем, известные под наименованием баркгаузеновских (они лишь немного позднее были самостоятельно открыты С. И. Зилитинкевичем), долгое время привлекали к себе внимание, но ныне они уже вряд ли актуальны.

Зато очень большое распространение получили лампы, основанные на совершенно новом принципе действия, главным образом, «магнетроны» и «клистроны» [1].

Резонансные линии. Концентрический кабель и трубчатые проводники («волноводы») широко используются в настоящее время для связи между антеннами и приёмной или передающей укв-аппаратурой, а также в качестве элементов схемы, в частности, как замкнутые колебательные контуры (резонаторы) с распределёнными ёмкостями и индуктивностями.

Использованию этих линий предшествовал длительный период применения «обычных» двухпроводных линий («лехеровых систем»). Вследствие относительно малого диаметра проводников лехеровой системы сопротивление её токам ультравысокой частоты велико. Следовательно, добротность контура, образованного такой линией, мала.

Потери в линиях концентрического кабеля значительно меньше. У такого кабеля поверхность оболочки с внутренней стороны много больше, чем у двухпроводной линии и потери в основном определяются диаметром внутреннего проводника. Сюда, однако, следует добавить потери в диэлектрике опор.

---

[1] «Клистрон» слово греческое, корень его означает «морской прибой», что отождествляется в этой лампе с образованием в ней движущихся «сгустков» электронов.

Потери в волноводах ещё меньше, диэлектрические потери в волноводах полностью устраняются. Из отрезков волноводов можно создать колебательные контуры, сохраняющие большую добротность и на очень высоких частотах.

Колебательные контуры из концентрических линий или волноводов называются резонансными или объёмными контурами, объёмными резонаторами или «эндовибраторами». Они используются в укв-аппаратуре также в качестве фильтров и различного рода согласующих элементов.

Генерация. На рис. 4 показано конструктивное офор-

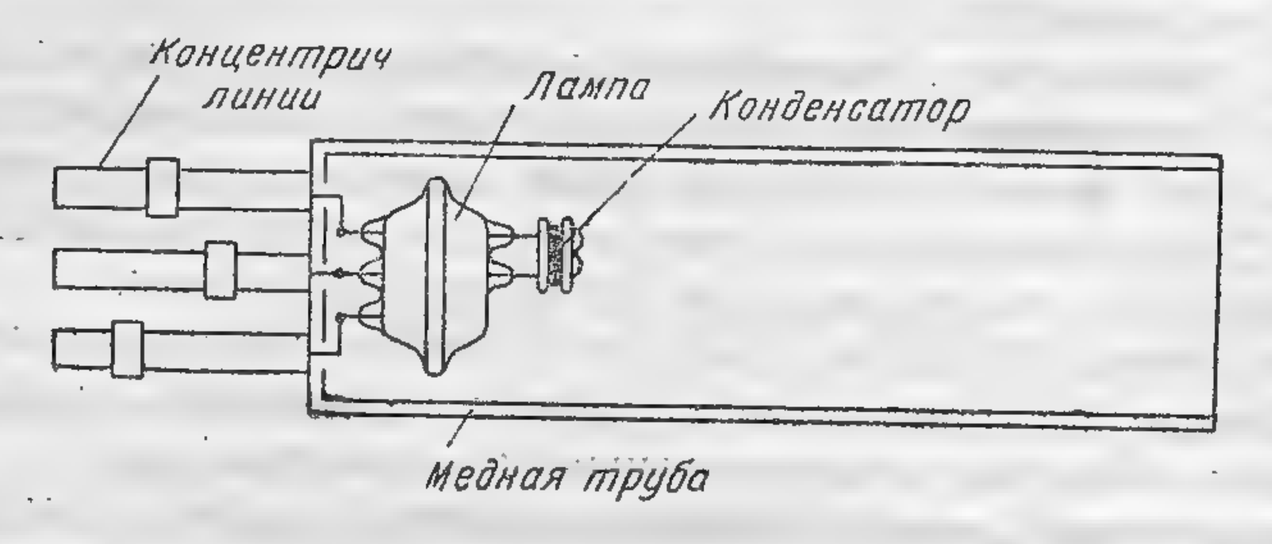


Рис. 4. Конструкция генератора частоты 3000 *мггц* на трёхэлектродной лампе.

мление генератора на частоту в 3000 *мггц* ($\lambda = 10$ *см*), интересного тем, что в нём применён триод, правда, специальной конструкции, и имеются все три вида линий: лехерова система, концентрические линии и волновод. Основной частотой генератора является частота 1500 *мггц*. Для выделения второй гармоники используется медный волновод. По основному свойству волноводов в них могут распространяться только волны короче некоторой предельной (критической) волны, зависящей исключительно от поперечных размеров. В рассматриваемом генераторе за счёт правильного подбора диаметра волновод является хорошим проводником для волны 10 *см* и отфильтровывает колебания основной частоты.

Для лучшей фильтрации колебательной энергии основной частоты лампа помещена внутри волновода. Одна пара выводов сетки и анода этой лампы закорочена конденсатором и образует, таким образом, отрезок лехеровой системы, настроенной ёмкостью лампы на основную частоту. К другой паре выводов подключён контур из кон-

центрической линии, настраиваемой с помощью перемычки на $^1/_4$ или $^3/_4$ длины волны. Чтобы избежать большого отсоса колебательной энергии цепями накала, в них также включены настраиваемые концентрические линии.

За последние годы получил широкое применение новый метод генерации с помощью разрезных магнетронов, открытых около 1935 г. почти одновременно и независимо в различных странах, в частности в Советском Союзе в лабораториях УФТИ, ВЭИ и др.

В простейшем виде разрезной магнетрон (рис. 5) состоит из двух полуцилиндров, в центре которых расположена нить накала. С помощью постоянного магнита (или электромагнита), размещённого вне лампы, внутри цилиндра создаётся магнитное поле, силовые линии которого направлены вдоль нити накала. Обе половины анода соединены упрощённым контуром.

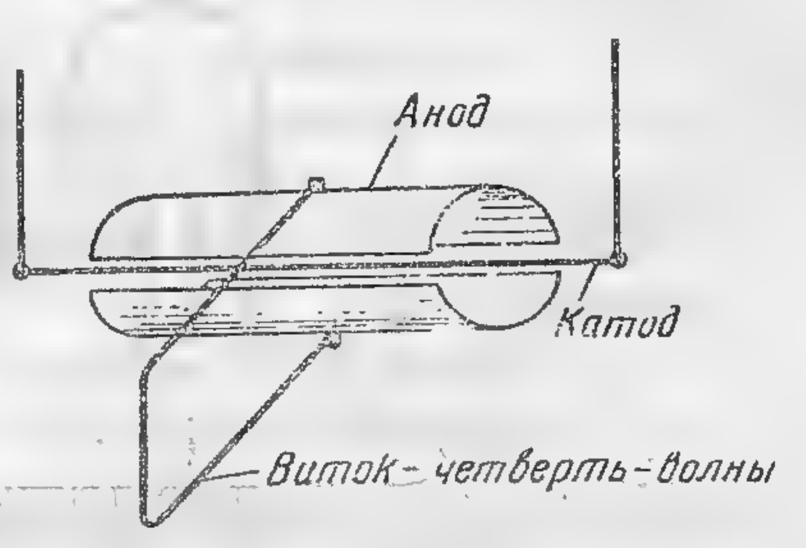


Рис. 5. Простейший разрезной магнетрон.

Общепринятой теории действия магнетрона пока нет. Наиболее вероятным представляется считать, что в магнетронах электроны завихриваются магнитным полем вокруг катода и образуют вращающийся объёмный заряд в непосредственной близости от анода. Поэтому отпадает вопрос о времени пролёта электронов от катода до анода, которое доставляет столько хлопот в лампах с управляемой сеткой. С магнетронами могут быть получены колебания очень высокой частоты (лабораторные образцы генерируют волны всего в 6 *мм*).

Вторым способом устранения влияния инерции электронов является способ «скоростной модуляции» в электроннолучевых лампах. На рис. 6 показано устройство «клистрона»—одной из наиболее распространённых ламп этого типа. С помощью «электронной пушки», как и в обычных осциллографических трубках, вдоль оси лампы создаётся узкий пучок электронов, летящих в направлении к «коллектору», играющему роль анода. Электроны на своём пути проходят в общем пять сеток: обычную управляю-

щую сетку, две сетки «модулятора» и две сетки «резонатора». По англо-американской терминологии эти сетки называют «банчер» («вязатель») и «кэтчер» («уловитель»).

В клистроне, как и во всяком электронном генераторе, энергия источника постоянного напряжения преобразуется через летящие электроны в колебательную энергию в резонаторе. Если на сетки модулятора приложено переменное напряжение, то в зависимости от фазы колебания

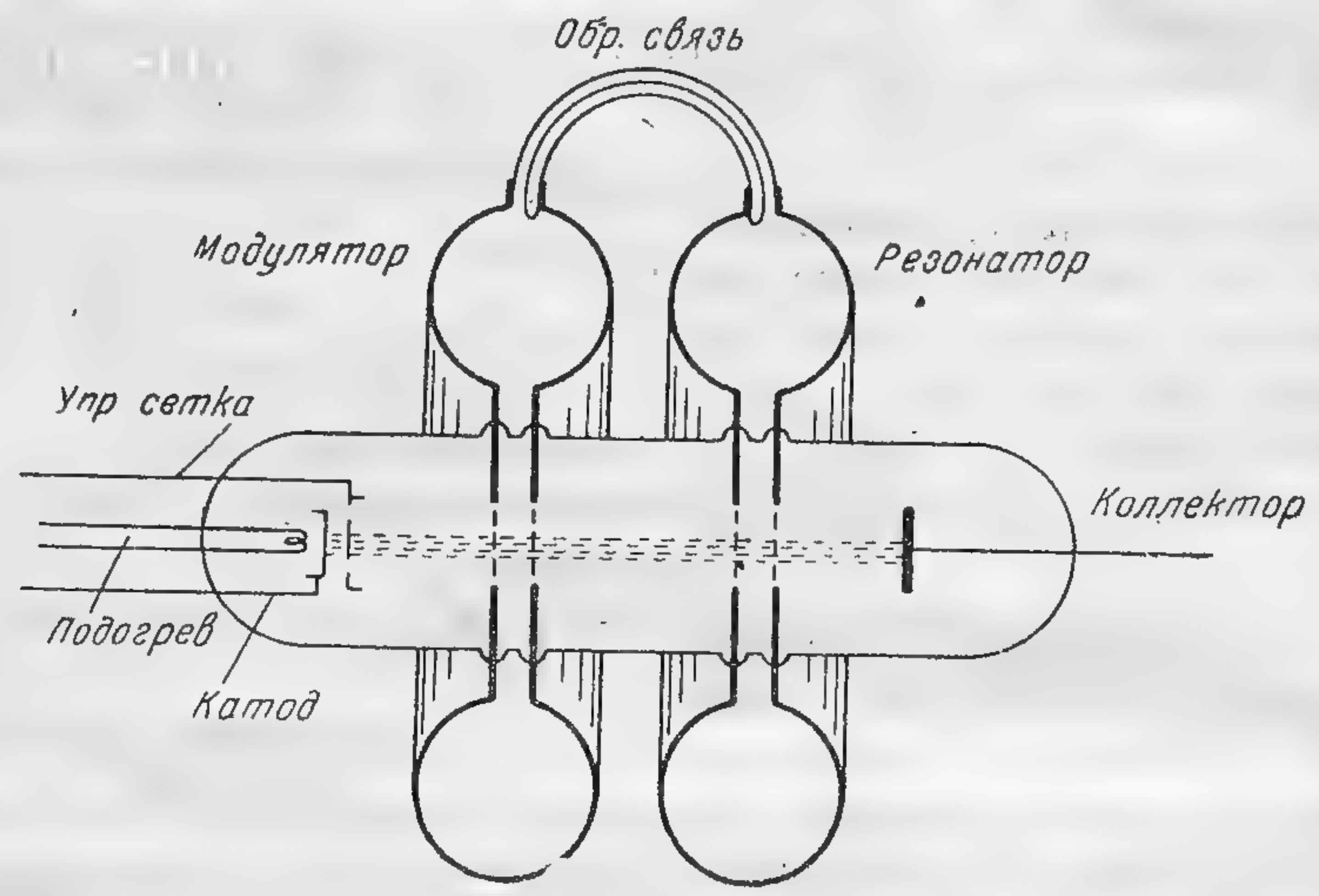


Рис. 6. Устройство клистрона.

летящие сквозь них электроны будут ускоряться или замедляться. На некотором расстоянии от сеток модулятора электроны более быстрые догонят вылетевшие ранее более медленные электроны, и в этом месте образуется сгусток электронов, а перед ним получится разрежение. Сгустки электронов, проходя между сетками резонатора, возбудят в нём колебания, частота которых будет совпадать с частотой колебаний в контуре модулятора. При наличии обратной связи эти колебания смогут сами собой поддерживаться.

В качестве колебательных контуров, включаемых в сетки модулятора и резонатора клистрона, используются объёмные контуры специальной формы, имеющие при сравнительно небольшом расстоянии между сетками достаточно высокую добротность. При включении клистрона по

рефлексной схеме необходимость в двух контурах отпадает и функции модулятора и резонатора выполняет один общий контур.

По литературным данным при ускоряющем напряжении в 3000 *в* клистрон на волне 10 *см* отдаёт мощность порядка 10 *вт*.

Усиление. Клистрон может быть применён и в качестве модулятора или усилителя. При использовании клистрона один каскад при частоте 3000 *мггц* даёт усиление напряжения до 20 раз.

На более низких частотах можно получить достаточно эффективное усиление и на лампах обычного типа с от-

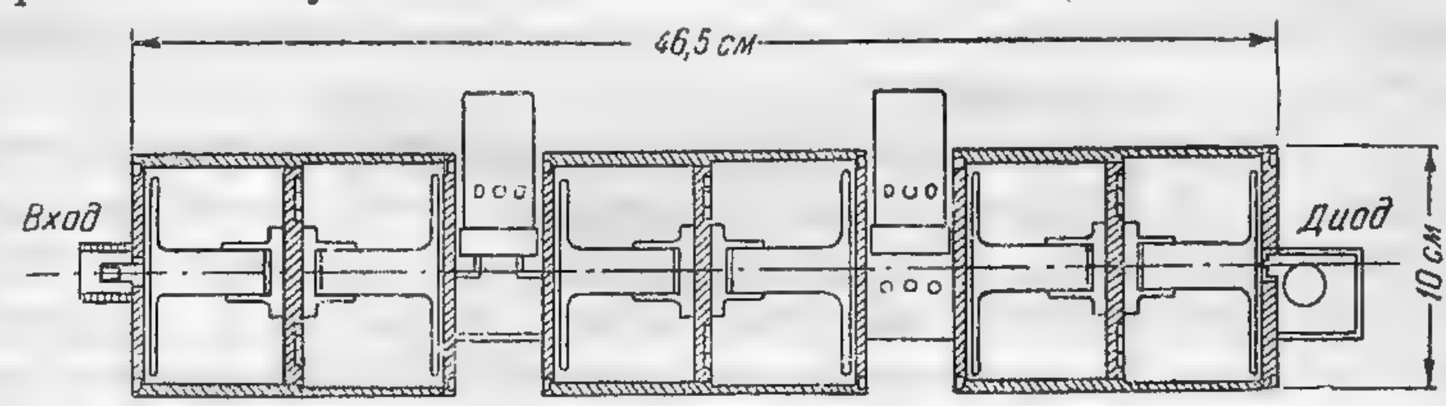


Рис. 7. Двухкаскадный усилитель частоты 170 *мггц*.

рицательной сеткой. Специальная конструкция ламп обеспечивает и достаточно большое входное сопротивление на высоких частотах и хорошее усиление. Примером является двухкаскадный усилитель на 170 *мггц* с общим усилением до 300 по напряжению (рис. 7). Полосовые фильтры, включённые в цепях анодов и сеток ламп, состоят из закороченных отрезков концентрической линии, представляющих собой связанные колебательные системы.

Ещё лучшие результаты получаются при применении двухтактных схем (значительно повышающих устойчивость усилителя), особенно на двойных укв-лампах, у которых обе системы электродов заключены в общий баллон. В Советском Союзе двойные укв-пентоды разработал С. А. Зусмановский. По литературным сведениям некоторые типы двойных пентодов дают усиление напряжения в 40 раз на волне в 1 *м*.

Большие и основательные надежды связывают в настоящее время с новым способом усиления очень высоких частот с помощью триода с заземлённой сеткой. Интересную конструкцию такой лампы дали Н. Д. Девятков, М. Д. Гуревич и В. К. Хохлов.

Частотная модуляция. Одной из отличительных особенностей связей на укв является возможность применения широкополосной частотной модуляции (ЧМ).

История ЧМ поучительна. Вначале считали, что ЧМ даёт весьма значительное сужение полосы боковых частот. Когда эти грубо ошибочные предположения были опровергнуты (и экспериментально и теоретически), о ЧМ временно забыли, если не считать исследований, проведённых в связи с загадочными искажениями на линиях радиосвязи, которые, как было обнаружено позднее, происходили от паразитной ЧМ. Затем американский исследователь Армстронг показал экспериментально возможность использования ЧМ для подавления шумов и помех на линиях радиосвязи.

При ЧМ передаваемый сигнал управляет частотой передатчика, т. е. убыстряет или замедляет его колебания; амплитуду при этом стараются сохранить неизменной. Наибольшее отклонение частоты передатчика под воздействием сигнала оценивается величиной Δf. Передача при ЧМ характеризуется так называемым «индексом модуляции», равным отношению максимального отклонения частоты Δf к наивысшей модулирующей частоте $F_{макс}$ ($M = \Delta f / F_{макс}$). Так например, в системе вещания на укв принят индекс модуляции, равный 5. Поскольку высшую модулирующую частоту берут равной 15 000 *гц*, то максимальное отклонение частоты составит $\Delta f = MF_{макс} = 75\,000$ *гц*. Таким образом, в системе вещания на укв, канал должен обеспечить неискажённую передачу полосы частот шириной 150 *кгц* (обе боковые полосы) [1]. Для сопоставления на рис. 8 изображены сигналы высокой частоты, модулированные по амплитуде (АМ) и по частоте (ЧМ).

Применение ЧМ имеет большое значение для развития системы вещания на укв, так как обеспечивает эффективное подавление шумов и помех. Кроме того, при ЧМ мощные передатчики упрощаются, а их полезная мощность возрастает по сравнению с АМ.

Среди большого числа схем для получения частотной модуляции выделяется схема с реактивной лампой, изображённая на рис. 9. Модулятором частоты является лам-

[1] Это не вполне строго: фактически спектральная полоса при ЧМ несколько шире, чем $2\,\Delta f$.

па *А*. В отсутствие модулирующего напряжения она ведёт себя как активное сопротивление, а при подаче на

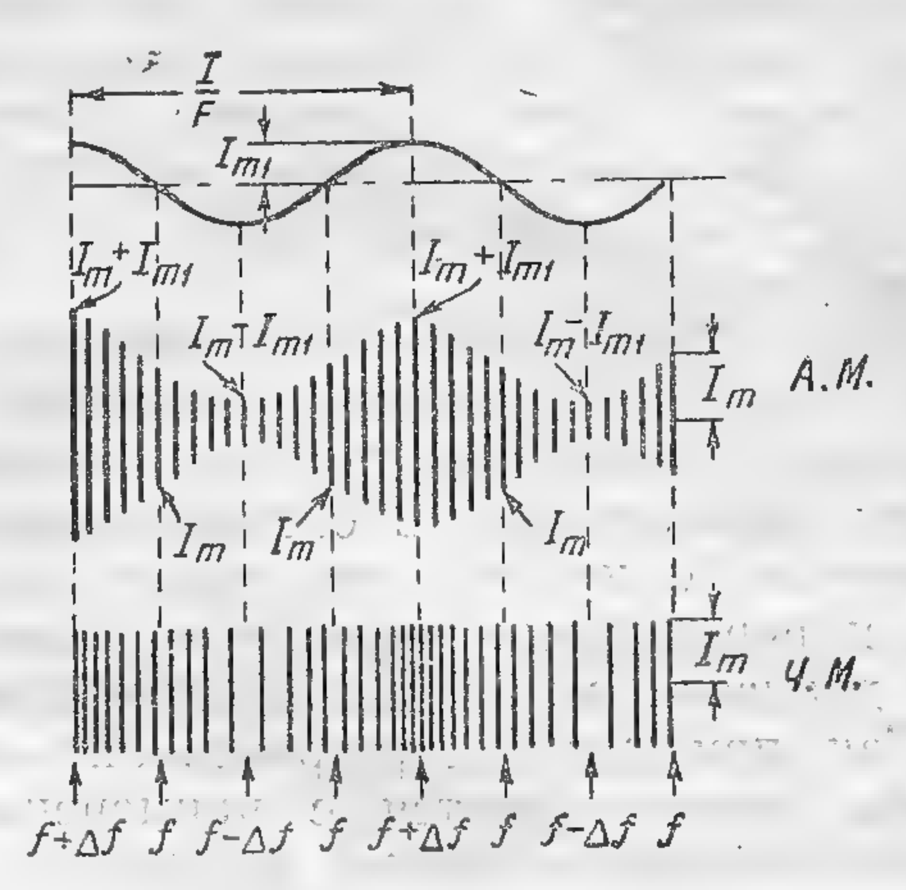


Рис. 8. Сигналы, модулированные по амплитуде (АМ) и частоте (ЧМ).

сетку модулирующего напряжения вносит в контур генератора (лампа *Б*) ёмкостную или индуктивную реакцию

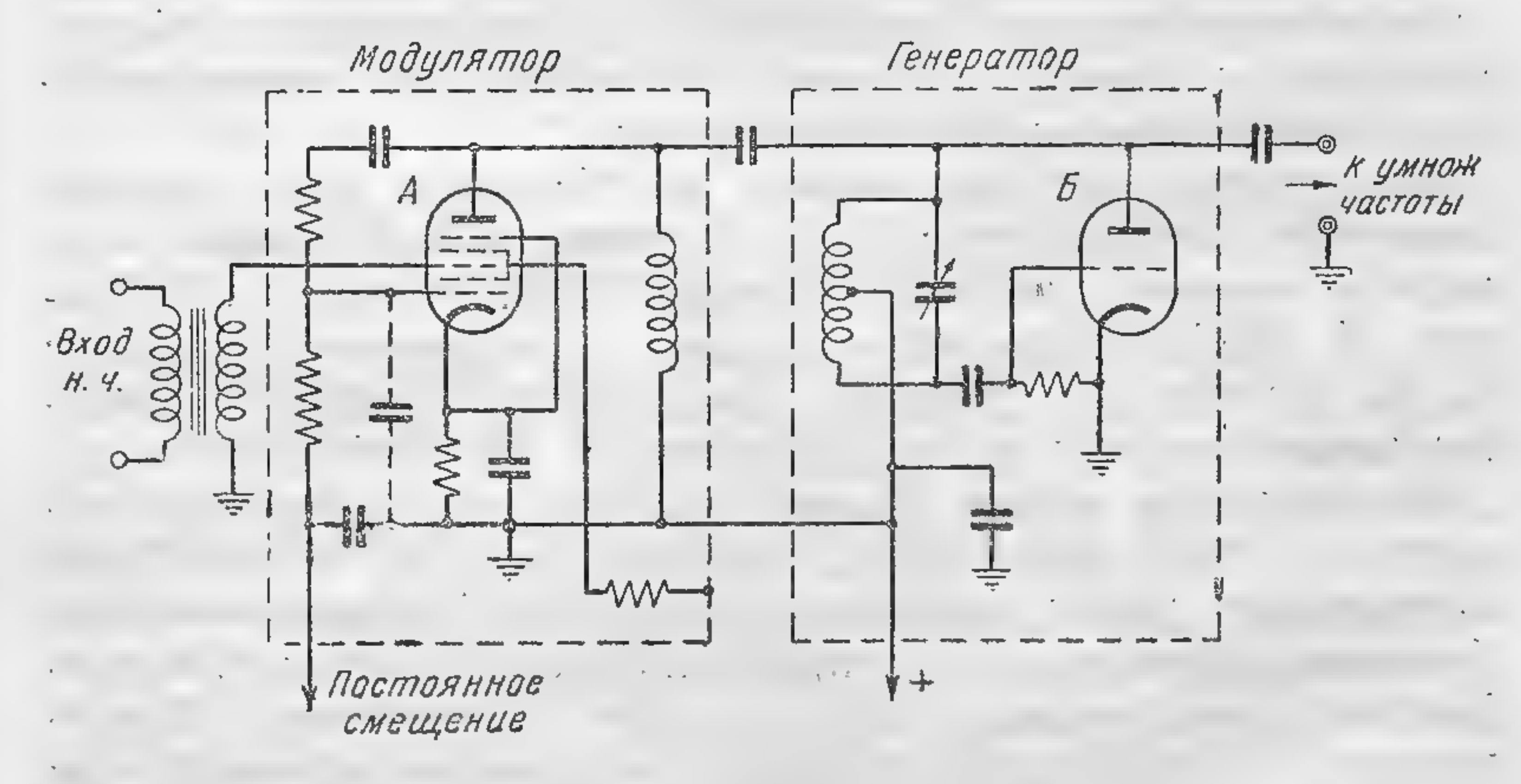


Рис. 9. Схема частотного модулятора с реактивной лампой.

и тем изменяет его частоту. За последние годы начали применять также модуляцию частоты генератора с по-

мощью конденсаторного микрофона, включённого непосредственно в колебательный контур.

Правда, применение ЧМ не всегда даёт преимущества. Так например, при передаче телевизионного вещания в городских условиях лучшие результаты даёт АМ. Из-за сравнительной сложности ЧМ-аппаратуры ЧМ не находит применения и в простейших укв-связях с переносными радиостанциями.

Укв-аппаратура. Современная укв-аппаратура слишком разнообразна даже для простого перечисления типов.

Укв-передатчики строятся на большой диапазон мощностей. Мощность передатчиков в системе вещания на укв при ЧМ доходит до 50 *квт*. В то же время для вещания используются и передатчики мощностью всего в 250 *вт*. Ещё больше диапазон мощностей профессиональных передатчиков. Так, при наличии ретрансляций очень ответственные связи осуществляются с применением направленных антенн всего лишь долями ватта.

Из всех задач, которые пришлось разрешать при развитии техники укв, наиболее сложные относились к вопросам приёма. Большие трудности доставляла вначале малая стабильность укв-передатчиков и их незначительная мощность. Долгое время наиболее чувствительными были суперрегенеративные приёмники, применяемые в малых станциях и поныне, но уже уступающие по чувствительности специальным ЧМ-приёмникам.

В развитии методов приёма укв большую роль сыграли советские специалисты: Г. С. Горелик и М. Г. Гинц дали первую теорию суперрегенератора, Е. Г. Момот, А. Д. Князев, Б. Ш. Киссельгоф — теорию синхронного приёма; В. Б. Пестряков — теорию помех приёму; широко известны также работы в этой области В. И. Сифорова и др.

В настоящее время техника приёма укв завершила известный круг развития и, пожалуй, одной из наиболее актуальных задач является дальнейшее повышение стабильности приёма укв и упрощение вещательных ЧМ-приёмников, рассчитанных на массовое применение. Современные ЧМ-приёмники значительно сложнее обычных, так как приём ЧМ-укв возможен только на сложный приёмник супергетеродинного типа, который к тому же должен быть очень широкополосным. В то же время приём АМ принципиально возможен на любой приёмник.

Блок-схема ЧМ-приёмника приведена на рис. 10. Для устранения паразитной амплитудной модуляции и подавления помех, а также для преобразования частотно-модулированных колебаний к спектру звуковых частот приёмник содержит дополнительную цепь ограничителя-дискриминатора, принципиальная схема которой показана на рис. 10.

Подавление шумов в ЧМ-приёмнике. Метод подавления шумов в приёмнике становится ясным при рассмотрении действия ограничителя-дискриминатора.

Весьма популярное объяснение основано на том про-

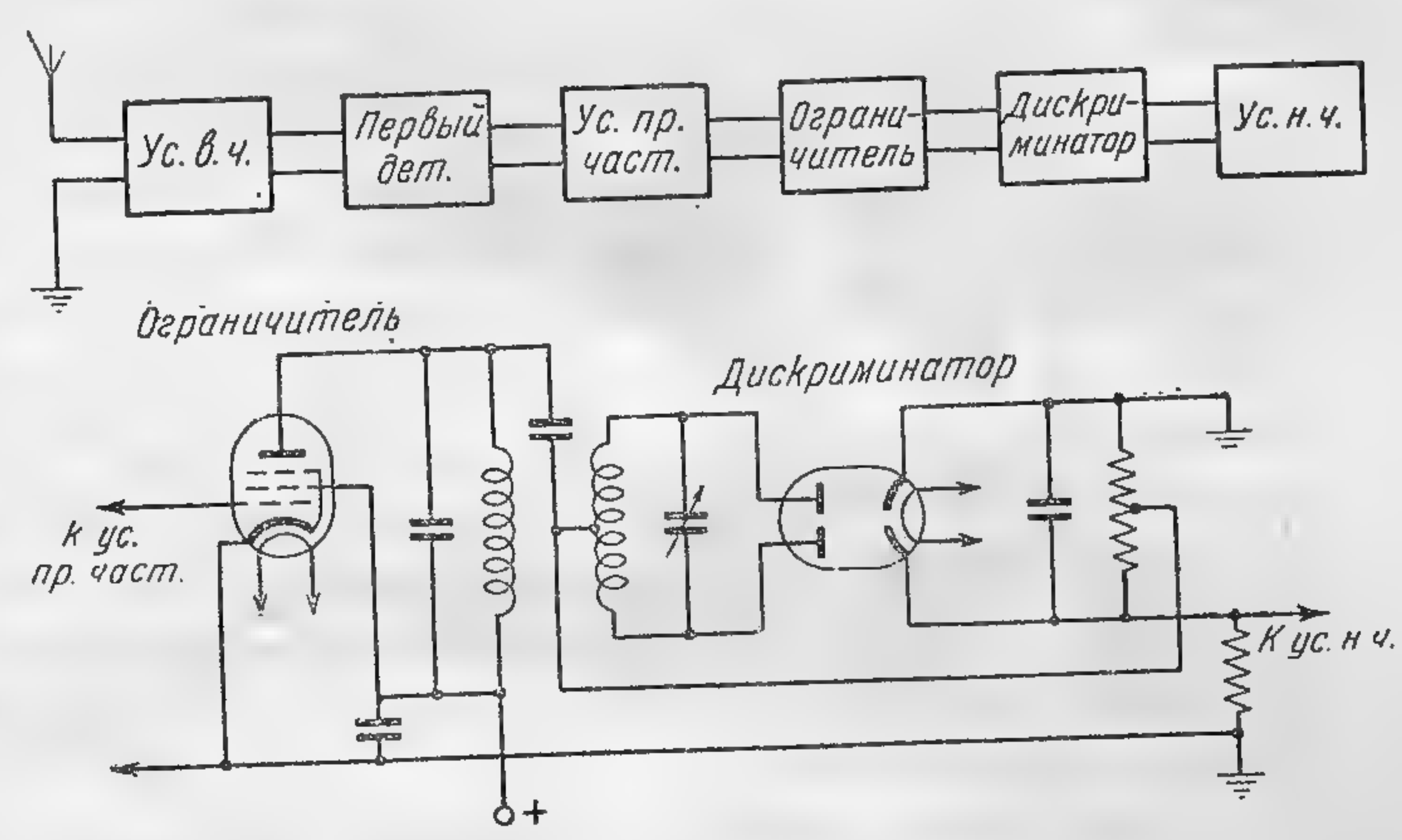


Рис. 10. Блок-схема ЧМ-укв-приёмника и схема его ограничителя-дискриминатора.

стом соображении, что все помехи, «нарастающие» на передаваемый сигнал, срезаются ограничителем приёмника, тогда как определяющие передаваемый сигнал изменения частоты этим не затрагиваются (рис. 11). В действительности дело обстоит несколько сложнее, так как шумы также дают некоторое изменение частоты. Но так как эти изменения не зависят от параметров ЧМ (например, индекса модуляции), то оказалось возможным, увеличивая наибольшее отклонение частоты, сделать эти частотные искажения шумами исчезающе малыми. Это и объясняет преимущества большого индекса модуляции.

Преобразование частотно-модулированных колебаний в тональные частоты, т. е. «частотная демодуляция», произ-

водится дискриминаторами или частотными детекторами, вполне аналогичными применяемым в приёмниках с автоматической подстройкой частоты.

Глубина модуляции амплитуды прямо пропорциональна отклонению частоты. Если помеха равномерно распределена по спектру частот, как это имеет место, например, при температурных шумах, то частотная составляющая шумов на выходе дискриминатора будет линейно возрастать с увеличением отклонения частоты. Чем меньше разность между «центральной частотой» и частотой со-

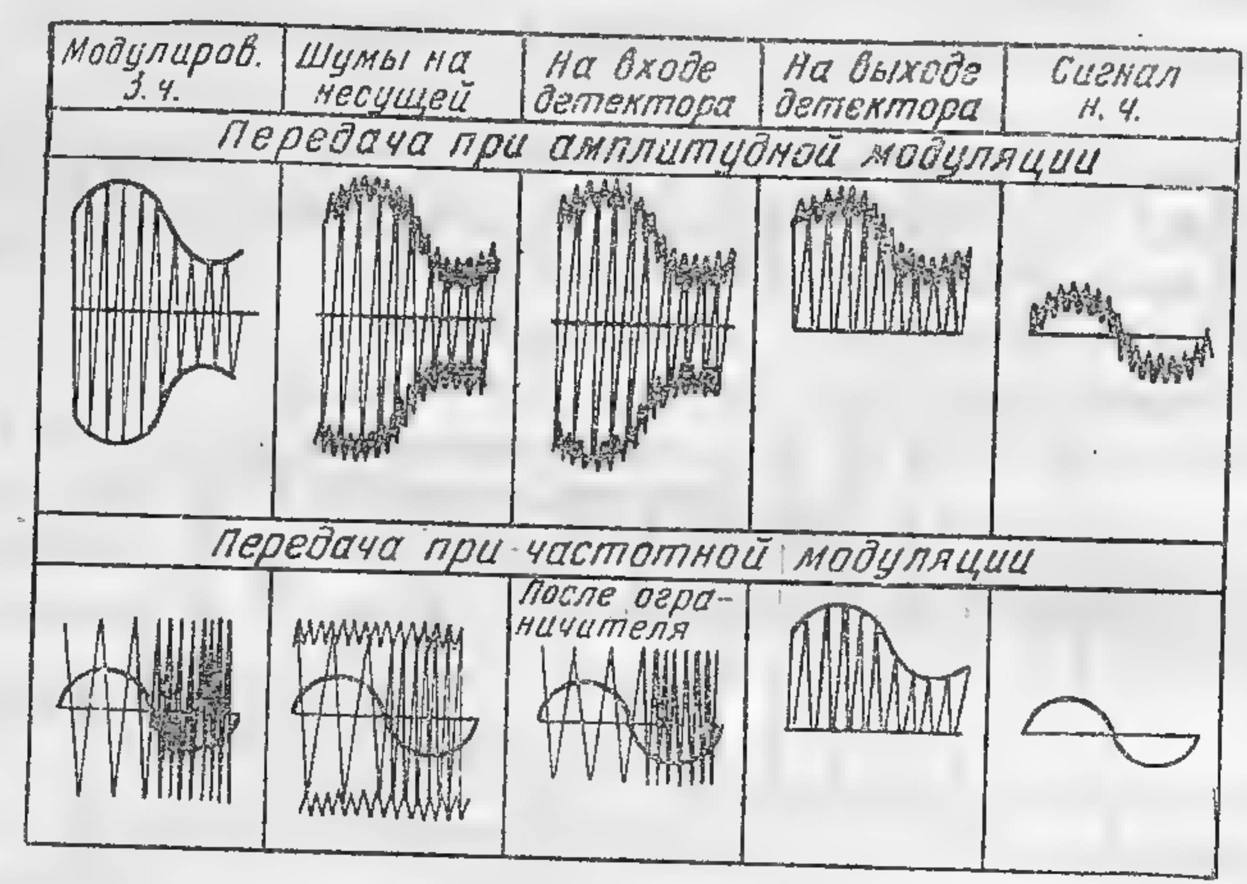


Рис. 11. Пояснение механизма подавления помехи при приёме ЧМ-колебаний.

ставляющей шумов, тем меньше амплитуда шумов этой составляющей на выходе дискриминатора. Это очень важное обстоятельство приводит к специфическому спектральному распределению шумов, составляющие которых линейно возрастают с повышением частоты.

Несложные вычисления показывают, что ЧМ уменьшает напряжение шумов в $\sqrt{3}$ раз при индексе модуляции $M=1$, а при индексе M, отличающемся от единицы, в $M\sqrt{3}$ раз. Так например, при индексе $M=5$ ($\Delta f=5\ F_{макс}$) уровень шумов снижается в $5\sqrt{3}$ раз (18,75 *дб*). Отсюда видно, насколько эффективное подавление шумов обеспечивается в случае ЧМ, особенно при большом индексе модуляции.

В результате применения широкополосной ЧМ удалось

значительно повысить чувствительность укв-приёмников. Так, уверенный приём звуковых программ, передаваемых на укв, обеспечивается в сельской местности при напряжённости поля 50 *мкв/м*. Наиболее чувствительными укв-приёмниками являются приёмники для патрульной службы, которые обеспечивают уверенный приём при напряжении на входе всего 0,1 *мкв*!

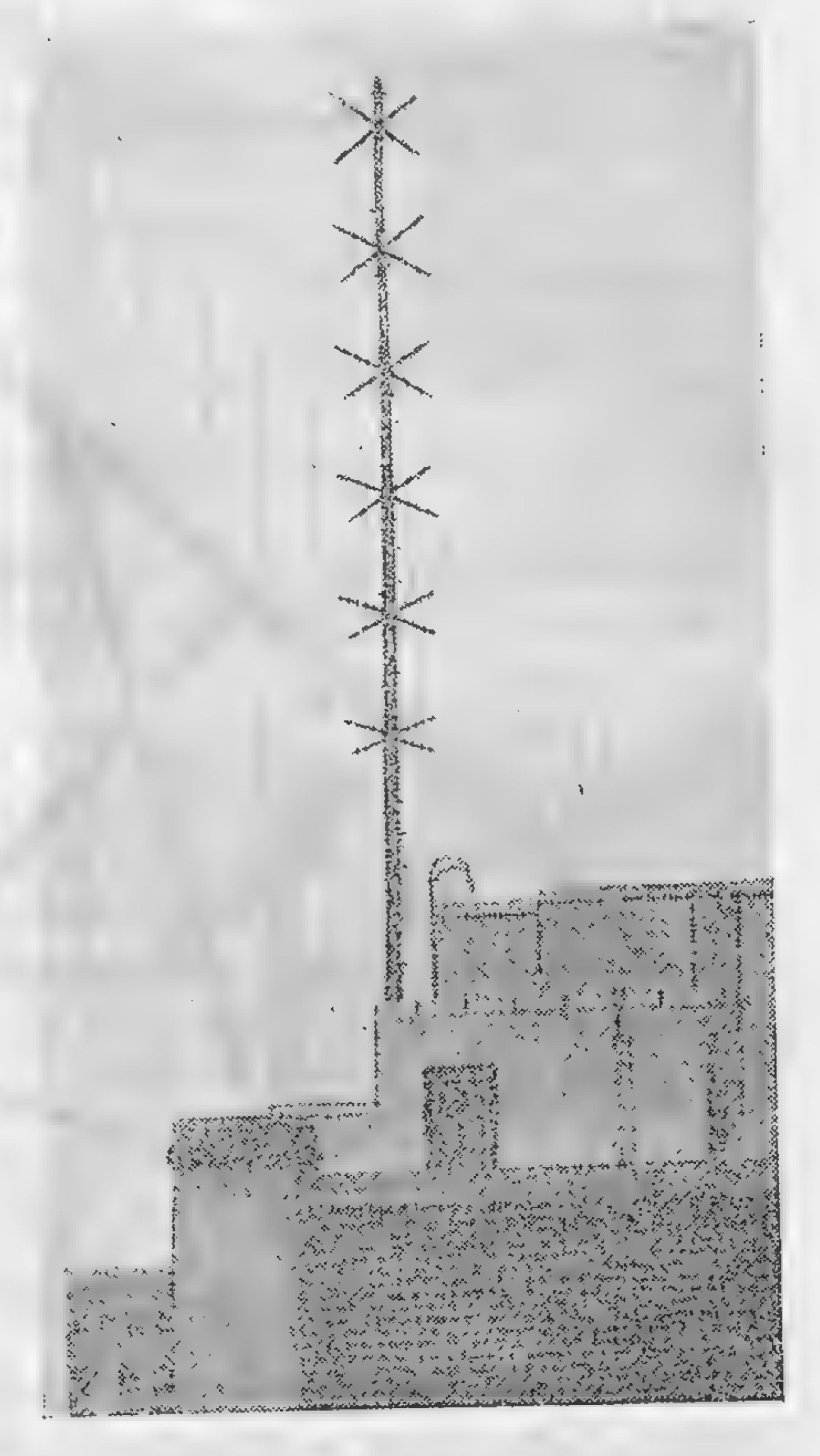


Рис. 12. Турникетная вещательная антенна с циркулярной диаграммой излучения.

Антенны и фидерные линии. Напряжение на входе приёмника, а отсюда и радиус действия укв-передатчика очень сильно зависят от высоты приёмных и передающих антенн и от их характеристик. Применение антенн, поднятых высоко над земной поверхностью, даёт очень большие преимущества. Отсюда возникает необходимость канализации энергии на пути антенна—аппаратура. Передача укв-энергии по проводам даже на десятки метров—не лёгкая задача. В зависимости от частоты для этой цели применяют либо двухпроводные (иногда четырёхпроводные) фидеры, либо — особенно эффективно—концентрические кабели, или, наконец, волноводы.

Концентрический кабель гибкой конструкции с резиновой изоляцией даёт поглощение на волне 10 *см* в 5 *дб/м*; при более жёсткой конструкции и соответствующем увеличении диаметра поглощение может быть снижено до

0,7 *дб/м*. Концентрический кабель жёсткой конструкции (со специальной изоляцией) даёт поглощение 0,4 *дб/м*, а медный волновод прямоугольной формы 4,5 *см*×7,5 *см* — всего 0,0175 *дб/м*. Целесообразность применения волновода при передаче на частотах выше 3000 *мггц* совершенно очевидна.

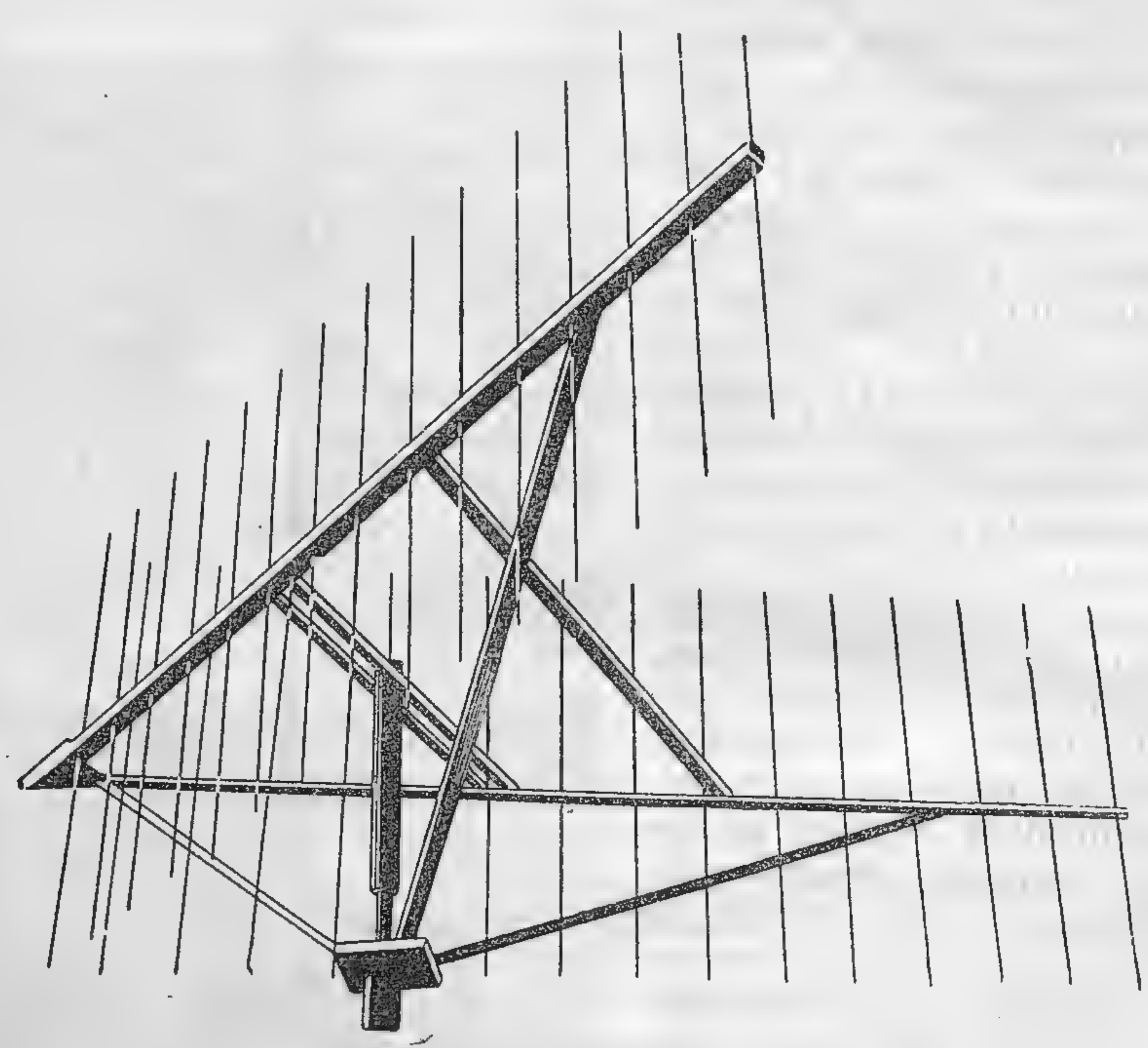


Рис. 13. Укв-антенна с угловым отражателем.

Большое значение имеет согласование выхода передатчика с фидером и фидера с антенной или согласование двух разнородных линий при переходе с одной на другую. Практически это согласование осуществляется достаточно просто.

Антенны, применяемые на укв-связях, весьма разнообразны в зависимости от назначения и от диапазона, в котором они должны работать.

Вещательные укв-антенны должны иметь циркулярную диаграмму излучения в горизонтальной плоскости и кон-

центрировать энергию в направлении, параллельном этой плоскости. Здесь находят применение так называемые «свёрнутые» диполи, расположенные в несколько этажей, а также антенны турникетного типа из двух диполей, скрещенных под прямым углом в горизонтальной плоскости и питаемых со сдвигом фазы в 90° (рис. 12). При применении 6 этажей усиление такой антенны по мощности составляет около 4. Подобные антенны наиболее популярны в технике звукового вещания на ЧМ-укв.

Телевизионные антенны значительно сложнее, так как должны обеспечить передачу очень широкой полосы частот (4,5 *мггц*, с тенденцией к дальнейшему росту). Здесь большой известностью пользуется широкополосная антенна Линденблада.

Для подвижных раций обычно применяют простые вертикальные вибраторы.

Наибольший интерес представляют остронаправленные, «лучевые» антенны, которые значительно отличаются друг от друга в зависимости от диапазона. На метровых волнах находят применение антенны из многих вибраторов, часть из которых питается, а часть является пассивными, а также антенны Уда-Яги и их разновидности. Усиление мощности в 40÷60 раз даёт коаксиальная антенна с угловым отражателем, выполненным в виде двух рядов пассивных диполей, расходящихся под углом 60 или 90° (рис. 13). Лучевые антенны для наиболее коротких волн укв-диапазона (порядка 30 *см* и короче) очень близки к прожекторным зеркалам и к акустическим рупорам. Присоединение такого рупора к концу волновода с круглым (или, ещё лучше, прямоугольным) сечением даёт при подходящем угле конуса рупора достаточно направленную передачу с усилением мощности (при необременительных размерах) порядка 100 (в прямой зависимости от величины отверстия рупора).

Электромагнитные рупоры отличаются исключительной диапазонностью, но по габаритам менее удобны, чем параболические зеркала, в которых антенна помещается в фокусе рефлектора, представляющего собой чаще всего параболоид вращения. Такую систему нетрудно построить на усиление мощности до 1000 раз, в прямой зависимости (так же, как и у рупора) от отношения размеров отверстия к длине волны. Боковые лучи, вообще сильнее выра-

женные в зеркалах, чем в рупорах, а также некоторое излучение назад, в вопросах связи обычно не играют су-



Рис. 14. Лучевые антенны с параболическими рефлекторами.

щественной роли. На рис. 14 изображены антенны с параболическими рефлекторами, применяемые на линии укв-связи через Ламанш.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УКВ

Благодаря указанным особенностям укв с их помощью реализована совершенно новая система многопрограммного вещания при ЧМ и успешно развивается телевизион-

ное вещание. Получили широкое применение разносторонние связи на укв подвижных объектов с стационарными (патрульная служба, связь на ж.-д. транспорте, самолётовождение и связь в авиации, войсковая связь, а также радиолокация и т. д.). В настоящее время — это самостоятельные, непрерывно совершенствующиеся отрасли радиотехники, базирующиеся на развитую промышленность.

Много внимания уделяется вопросам применения укв для резервирования (а иногда и для замены) существующих кабельных линий, для связи между студией и вещательными станциями, между радиобюро и передающим или приёмным радиоцентром и т. д. Безукоризненно работают радиовставки на укв в кабельные и воздушные линии связи.

Большое значение придаётся дальней широкополосной связи на укв. Необходимые подготовительные работы по её внедрению проводятся усиленными темпами.

Попытка дать сколько-нибудь развёрнутое описание всех названных практических применений укв была бы безнадёжна. Поэтому мы ограничимся приведением только основных и наиболее существенных сведений.

Звуковое вещание на укв. В отличие от волн других диапазонов укв почти не знают таких ограничений как недостаточное число каналов, невозможность обеспечить высокое качество программ из-за малой ширины вещательных каналов, значительные атмосферные помехи, периодические колебания напряжённости поля и т. д.

Ёмкость диапазона укв позволяет полностью удовлетворить всем требованиям в отношении количества вещательных каналов и их ширины. Поэтому высококачественное, многопрограммное вещание может быть обеспечено только в диапазоне укв. Конечно, с расширением канала увеличивается уровень шумов, но ЧМ удачно разрешает конфликт между шириной полосы и шумами, равно как и конфликт между большим динамическим диапазоном и нелинейными искажениями.

Для дальнейшего развития новой системы вещания будет иметь большое значение упрощение ЧМ-укв-приёмника, который в его настоящем виде содержит 8÷10 ламп. Вполне реальные перспективы такого упрощения имеются.

Разносторонние испытания новой системы вещания,

проведённые в США, подтвердили её крупные преимущества. Они настолько велики, что уже сейчас во многих странах проводится усиленная подготовка к внедрению этой системы. В США ещё до начала второй мировой войны были начаты регулярные передачи программ на ЧМ-укв, а к настоящему времени подготовлен план развития системы вещания на укв для обслуживания всей населённой части страны. У нас в Союзе крупные подготовительные работы к внедрению звукового вещания на укв проводил Институт радиовещательного приёма и акустики НКЭП.

При организации многопрограммного звукового вещания на укв одним из наиболее серьёзных является вопрос о необходимом количестве вещательных каналов и распределении волн между ними. Для его решения нужно установить зону обслуживания радиостанции, зону её помехи смежным станциям и необходимое смещение между двумя вещательными станциями, работающими на одной волне.

В настоящее время в качестве нормы приёма в системе вещания на укв принята напряжённость поля для городских условий 1000 *мкв/м* и для сельской местности 50 *мкв/м*. На границе зоны обслуживания уровень сигнала мешающей станции, работающей на той же волне, должен быть на 20 *дб* ниже уровня полезного сигнала (т. е. для указанных зон 100 *мкв/м* и 5 *мкв/м* соответственно). Таким образом, станции, работающие на одной волне, следует размещать через одну, а если учесть возможное увеличение напряжённости поля из-за тропосферных влияний, пока не поддающихся расчёту, то через две зоны на третьей. В этом случае при передаче одной программы для обслуживания территории потребуются 9 вещательных каналов, при передаче трёх программ — 27 каналов. В действительности, количество вещательных каналов должно быть ещё больше, так как крупные города необходимо обслуживать многопрограммным вещанием.

Радиус действия вещательных укв-станций зависит от мощности передатчика, подъёма антенны, её усиления и от характера местности и почвы.

Предварительные результаты исследований, проведённых Центральным научно-исследовательским институтом связи, показали, что для обслуживания крупных, густонаселённых районов с сельским населением выгодно при-

менять автоматические станции без постоянного обслуживания мощностью порядка 250 *вт*. При мощности передатчика 250 *вт* (высота антенны 100 *м*, усиление 4 по мощности) радиус его действия составляет 60 *км*. При увеличении мощности до 5 *квт* и высоты антенны до 150 *м* радиус действия увеличивается до 110 *км*. Таким образом в дневных условиях радиусы действия укв- и средневолновой станции сравнимы.

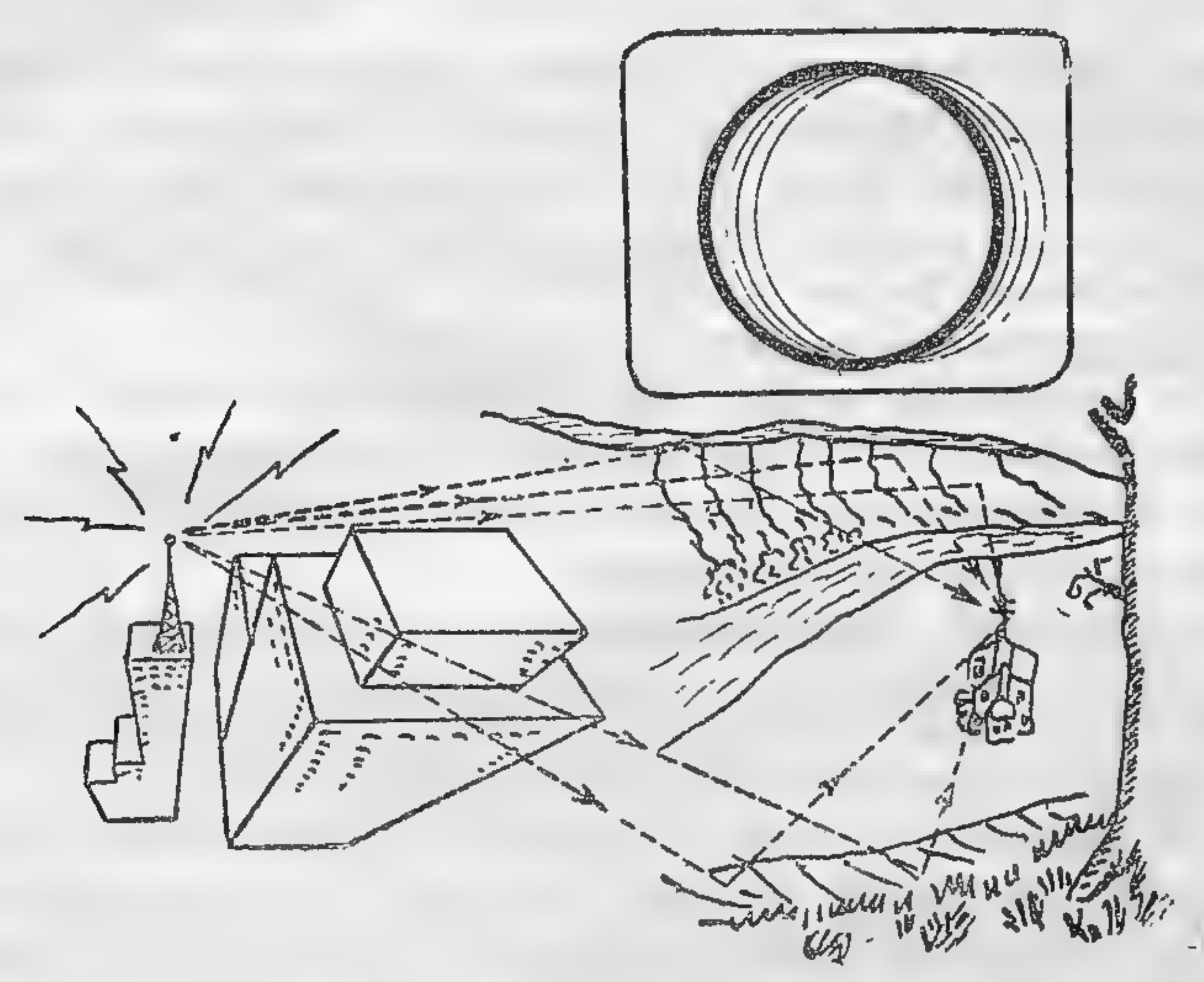


Рис. 15. Пример искажений при приёме телевизионных изображений.

Телевизионное вещание[1]. За последнее время явно обозначилась тенденция повышения чёткости передаваемого изображения путём увеличения числа строк. При этом значительно возрастают требования к ширине телевизионного канала. Так, по проекту нового телевизионного стандарта Советского Союза, намеченного к внедрению в ближайшие годы, для передачи телевизионной программы (при числе строк изображения — 625) потребуется канал шириной до 8 *мггц*. Известные сейчас технические средства позволяют осуществить такую передачу только

[1] Телевизионному вещанию в настоящем сборнике посвящена статья С. В. Новаковского «Развитие телевидения».

на укв. Однако, и при использовании этого диапазона встречаются затруднения, так как качество изображения на приёме сильно зависит от условий распространения укв, и с расширением канала эта зависимость должна сильно увеличиться. Отсюда понятен новый интерес к условиям распространения укв.

В месте приёма, в особенности в условиях большого города, поле укв имеет весьма сложную структуру. В результате отражений от различных объектов в точку приёма приходят лучи с разных направлений, сдвинутые по фазе относительно друг друга. В результате сложения (интерференции) этих лучей изображение на экране приёмной трубки может стать двойным, тройным или может подвергнуться более сложным искажениям. На рис. 15 показан типичный пример таких искажений, когда в точку приёма приходят несколько отражённых лучей; прямой луч экранируется высоким зданием. В результате на основное изображение накладывается несколько более слабых смещённых изображений.

Отражения от таких подвижных объектов, как самолёт, автомобиль, поезд и т. п., также приводят к значительным искажениям; эти искажения, хотя и более неприятны, но зато имеют кратковременный характер.

Часто искажения, обусловленные отражениями от стационарных объектов, можно устранить простым перемещением приёмной антенны в другое место крыши, применением простой направленной антенны или увеличением её высоты. Эти мероприятия легче всего осуществить при использовании «коллективной» антенны или, ещё лучше, при использовании общего усилителя, как это было сделано в одном из домов Москвы по проекту Центрального научно-исследовательского института связи.

Успехи освоения очень коротких волн укв- диапазона (порядка 3÷30 *см*) позволяют уже в настоящее время проектировать телевизионные системы, по качеству изображения не уступающие кино. Такое качество может быть достигнуто при использовании канала шириной 20 *мггц*. Возможность экспериментальной передачи в столь широкой полосе частот предусмотрена проектами новых телевизионных стандартов Советского Союза и США. Понятно, что практическая реализация подобной системы телевизионного вещания потребует много труда телевизион-

ных специалистов и радикального решения вопросов распределения программ.

Ретрансляционные укв-линии. Одной из наиболее обещающих областей применения укв является дальняя связь на укв с применением ретрансляций, где возможности, кажется, даже больше, чем в технике связи по кабелю. Не вызывает сомнений, что на укв могут быть организованы не только телевизионные передачи, но и многоканальные телефонные связи. Поэтому проблема дальней связи

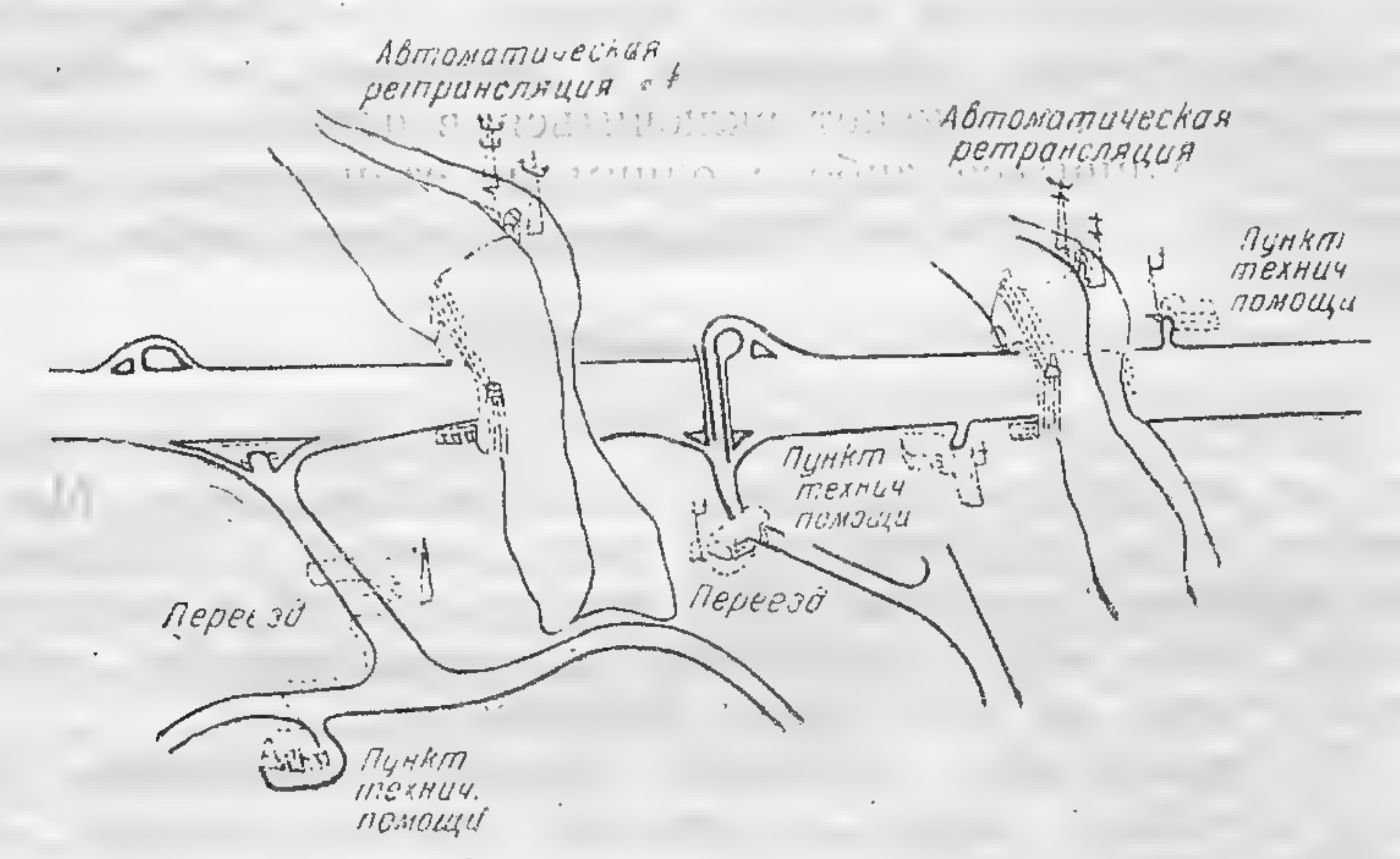


Рис. 16. Участок автострады в Аллегенских горах, оборудованный укв-связью.

но укв стала центром внимания технической общественности и объектом крупных подготовительных работ.

Дальние линии связи на укв должны быть использованы прежде всего для передачи в широкой полосе частот вещательных программ (звуковых и телевизионных) и для многоканальной телефонии.

Современные системы вещания строятся по принципу кольцевания вещательных радиостанций, когда все вещательные станции, звуковые и телевизионные, соединяются в единую сеть с помощью специальных линий связи. Это объясняется тем, что стоимость выполнения вещательной программы намного превышает стоимость эксплоатации технических сооружений. Отсюда очевидна рентабельность применения ретрансляционных укв-линий.

Укв-линии могут быть с успехом применены также и на ж.-д. транспорте, для патрульной службы и т. д. Например, на рис. 16 изображён небольшой участок укв-магистрали, предназначенной для патрульной службы на автостраде в Аллегенских горах в США. Эта линия общей длиной в 300 *км* обеспечивает двустороннюю связь между большим количеством стационарных пунктов и 30 патрульными автомашинами, курсирующими вдоль автострады. На линии используются 6 автоматических ретрансляций, работающих на волнах порядка 2,5 *м*. Любая из патрульных машин, находящихся в движении на обслуживаемом участке, может включиться в цепочку ретрансляций и соединиться либо с одним из стационарных пунктов, либо с другой машиной, находящейся в любом пункте участка.

Области применения укв неисчислимы, даже если говорить об их использовании только как средства связи. Мы не могли здесь остановиться на таких важных и обещающих применениях укв, как связь между студией и радиостанцией, связь между радиобюро и радиоцентрами, кабельная вставка на укв, связь в авиации и т. д.

Особняком стоят обширные области применения укв для лечебных целей, в пищевой промышленности, для сушки дерева и т. д.

Но и приведённого здесь краткого обзора достаточно, чтобы представить себе, какие огромные перспективы внедрения техники укв открыты перед советскими научно-исследовательскими институтами, электропромышленностью и эксплоатирующими организациями.

Инж. С. В. НОВАКОВСКИЙ

РАЗВИТИЕ ТЕЛЕВИДЕНИЯ

ВВЕДЕНИЕ

Успехи физики, электротехники, радиотехники, вакуумной техники и ряда других наук позволили осуществить «видение на расстоянии», которое раньше казалось лишь смелой фантазией. Человек всегда мечтал расширить границы своего зрения и видеть предметы, находящиеся вне его поля зрения, отделённые от него большим расстоянием или непрозрачной средой. Однако, только с третьей четверти прошлого столетия, в связи с развитием физики и электротехники, начинаются попытки осуществить видение на расстоянии с помощью электрических средств связи. Эти попытки увенчались успехом и к настоящему времени радиотелевидение стало одной из передовых отраслей радиотехники.

Современное телевидение позволяет передавать на расстояние подвижные изображения, чёткость которых близка к чёткости, наблюдаемой в кино. Зритель, имеющий телевизионный приёмник, может у себя дома слушать и при этом видеть концерты, драматические, музыкальные и балетные постановки, кинофильмы, спортивные соревнования, парады войск, актуальные сцены и прочие программы, передаваемые телевизионными станциями. Повидимому в недалёком будущем в городах начнут работать телевизионные театры, в которых зритель сможет смотреть постановки, транслируемые из лучших театров столицы, кинокартины, матчи бокса и борьбы и т. д. Телевидение, являясь высшей формой радиовещания, расширит аудиторию и будет служить человечеству мощным

оружием в деле культурного и политического воспитания.

Понятно, что своего современного уровня телевидение достигло не сразу. Многочисленные исследования, проведённые до 1931—1933 гг., хотя и накопили большой подготовительный материал, но не обеспечили достаточно хорошего решения вопроса. Только с 1931—1933 гг., в результате реализации так называемых электронных систем телевидения, начинается быстрое развитие телевидения и его практическое внедрение. В ряде стран, в том числе и в СССР, строятся телевизионные центры высококачественного вещания, ставится вопрос об организации массового выпуска телевизионных приёмников, начинается регулярное телевизионное вещание.

НАЧАЛЬНЫЙ ПЕРИОД РАЗВИТИЯ ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Попытки осуществить телевидение сначала по проводам, а затем по радио стали реальны после создания фотоэлемента—прибора, позволяющего преобразовать свет в электрический ток. Явление преобразования света в электрический ток, названное фотоэлектрическим эффектом (кратко—фотоэффект), было впервые обнаружено в 1873 г. англичанином Маем, который заметил, что сопротивление, сделанное из металла селена, меняет свою величину под действием падающего на него света. Это явление получило название внутреннего фотоэффекта. Вскоре был обнаружен внешний фотоэффект, в дальнейшем использованный для телевидения. В изучении внешнего фотоэффекта большая заслуга принадлежит русскому учёному А. Г. Столетову.

Явление внешнего фотоэффекта, названное Столетовым актиноэлектричеством, состоит в том, что поток световой энергии, падая на поверхность твёрдого или жидкого тела, выбивает из этой поверхности электроны, причём количество вылетающих электронов увеличивается с увеличением энергии лучей. Потеряв часть электронов, тело приобретает положительный электрический заряд. Столетов одним из первых (1888) всесторонне исследовал это явление, провёл измерение фототоков, обнаружил целый ряд специфических свойств явления, в том числе отсутствие инерционности; последнее обусловило использование в телевидении именно внешнего фотоэффекта.

В результате дальнейших работ в 1906 г. был сконструирован фотоэлемент, который затем непрерывно совершенствовался.

Вскоре после открытия внутреннего фотоэффекта в селене начали появляться проекты устройств для передачи изображений. Так в 1875 г. американец Карей предложил проект аппарата, напоминающего по своему устройству человеческий глаз. Подобно тому, как глаз имеет множество светочувствительных элементов на сетчатой оболочке, аппарат Карея имеет множество фотоэлементов, связанных проводами с приёмным экраном, на котором расположено множество лампочек (каждому фотоэлементу в передатчике соответствует своя лампочка на экране). Передаваемое изображение проектируется на фотоэлементы и в соответствии с распределением света и тени на фотоэлементах распределяется яркость свечения лампочек по поверхности экрана, что и должно воспроизводить передаваемое изображение. Так как для достаточно хорошего качества изображения требуется передача 200 000 ÷ 300 000 его элементов, то прибор Карея потребовал бы наличия 200 000 ÷ 300 000 фотоэлементов, столько же лампочек и отдельных каналов связи (т. е. проводов). Совершенно ясно, что осуществление такой системы оказалось невозможным.

Через 3 года после Карея, в 1878 г., француз Де-Пайва, воспользовавшись свойством нашего глаза удерживать впечатление от освещения в течение десятой доли секунды после того, как освещение прекратилось (явление, известное с 1832 г. из изучения стробоскопических эффектов), предложил идею аппарата, который существенно отличался от описанного Кареем. Сигналы телевидения Де-Пайва предлагал передавать по одному каналу связи и иметь в месте приёма всего лишь одну лампочку, которая быстро двигается перед прозрачным экраном. Наблюдатель, находящийся по другую сторону экрана, видит на нём светящийся след движущейся лампочки. Лампочка при своём движении производит развёртку изображения, т. е. обегает все точки экрана последовательно одну за другой и это повторяется настолько быстро (10 ÷ 20 раз в секунду), что наблюдателю все точки экрана кажутся светящимися. В том же порядке, как идёт развёртка на приёме, линия связи присоединяется к различным точкам па-

нели селеновых фотоэлементов на передатчике. Таким образом, лампочка в каждой точке экрана имеет яркость, соответствующую освещённости соответствующего фотоэлемента, и наблюдатель получает впечатление изображения. Обе развёртки должны быть строго синхронными и синфазными. Эта система также не была осуществлена, так как тогда не было известно, какими средствами произвести развёртку в передатчике и в приёмнике.

Принцип, предложенный Де-Пайва в 1878 г., получил название принципа *поочерёдной* передачи элементов изображения и является основным принципом телевидения в наши дни. При поочерёдной передаче чёткость, определяющая качество изображения, зависит от числа элементов, на которые разлагается изображение при развёртке, либо от числа строк разложения, состоящих из этих элементов. Чем больше элементов или строк, тем выше чёткость. Если разлагать изображение, например на 1200 элементов (30 строк)[1], то чёткость его будет весьма низкой. Зато при 300÷500 тысячах элементов (480÷620 строк) качество изображения по чёткости соответствует, примерно, качеству, достигаемому в узкоплёночном кино.

В самых общих чертах принцип поочерёдной развёртки в применении к современному телевизионному передатчику пояснён на рис. 1*а*. Изображение передаваемого объекта проектируется с помощью объектива на особую панель (мозаику), обладающую фотоэлектрической чувствительностью. В соответствии с распределением света и тени в изображении все элементы панели окажутся положительно заряжёнными до тех пор, пока электронный луч, осуществляющий развёртку, не обойдёт все элементы по очереди, в порядке строк, и не снимет этих зарядов. Ток разряда протекает через нагрузочное сопротивление R и образует на нём телевизионный сигнал. После усиления телевизионный сигнал передаётся по радио в приёмник, где действует на приёмную трубку, сугубо схематическое расположение двух основных деталей которой приведено на рис. 1*б*. Трубка состоит из электронного прожектора, создающего узкий электронный луч, и экрана,

---

[1] Связь между числом элементов и числом строк определяется соотношением сторон выбранного размера изображения. Обычно принято соотношение 4 : 3.

покрытого веществом, способным светиться в тех точках, на которые падает электронный луч. Луч заставляют прочерчивать на экране одну за другой параллельные строки, элементы которых поочерёдно светятся; яркость

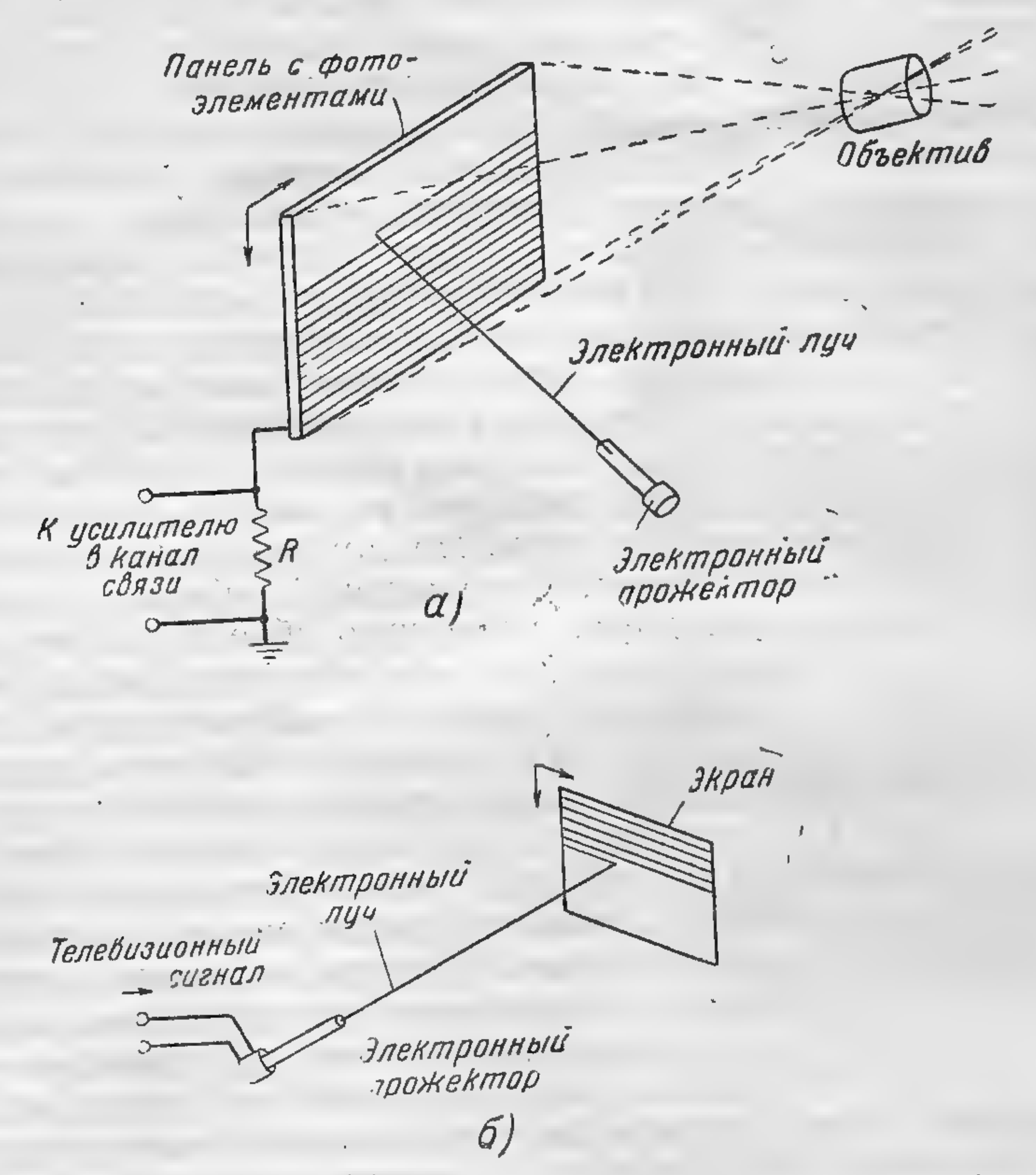


Рис. 1. Схема осуществления принципа поочерёдной передачи элементов изображения (*а*) и воспроизведения изображения на приёмном экране (*б*).

свечения пропорциональна мощности электронного луча. Принимаемый телевизионный сигнал управляет мощностью луча, и поэтому на экране получается изображение передаваемого объекта. Это устройство безинерционно и может развернуть изображение на любое, практически необходимое, число строк.

Принцип развёртки изображения с использованием электронного луча был практически реализован сравнительно недавно, в начале тридцатых годов. Во времена Де-Пайва электронная техника только зарождалась, а механика достигла уже довольно высокого уровня своего развития, поэтому конструирование устройств для развёртки началось с использования механических способов.

Первое механическое развёртывающее устройство было предложено в 1884 г. польским инженером Нипковым, работавшим в Германии. Основная деталь этого устройства, получившая название диска Нипкова, благодаря своей гениальной простоте, сохранилась в механическом телевидении на протяжении всего его существования. Этот диск позволил применить в передатчике всего лишь один фотоэлемент, а в приёмнике — один неподвижный модулируемый источник света. Диск, на котором сделаны маленькие отверстия, расположенные по спирали, вращается перед передаваемым объектом. По другую сторону диска расположен фотоэлемент. Изображение объекта, освещаемого источником света, с помощью объектива фокусируется на плоскость диска. Каждое отверстие диска описывает при его вращении строку в изображении и по очереди пропускает свет от отдельных элементов строки на фотоэлемент. Так как отверстия расположены на спирали, то при вращении диска они последовательно проходят одну строку за другой, т. е. описывают целый кадр. В приёмнике такой же диск вращается между источником света и глазом зрителя. Яркость источника света управляется принимаемым телевизионным сигналом, и так как приёмный диск вращается синхронно и синфазно с передающим, то зритель видит на плоскости диска изображение. Идея Нипкова была реализована только после изготовления фотоэлементов с внешним фотоэффектом и изобретения усилительной радиолампы, позволившей усиливать слабые фототоки. С этого времени старания изобретателей направлены на улучшение конструкций передатчиков и приёмников, повышение качества изображения путём увеличения числа элементов разложения, увеличение яркости и размеров изображения, разработку аппаратуры для передачи объектов из студий с искусственным освещением и передач с натуры без искусственного освещения и т. д.

Наконец, механическое телевидение было разработано в такой степени, что появилась возможность его практической реализации.

В СССР первые радиопередачи телевидения с механическими системами начались с мая 1931 г. через передатчик ВЭИ на волне 56,6 *м*. В октябре 1931 г. было организовано регулярное телевизионное вещание на 30 строках (1200 элементов) при 12,5 кадрах в секунду (рис. 2), положившее начало быстрому росту телевизионного радиолюбительства.



Рис. 2. Изображение, полученное на приёмнике в системе механического телевидения на 30 строк.

К 1934—1935 гг. механическое телевидение достигло, пожалуй, наивысшей точки своего развития. Так, на германской радиовыставке 1934 г., прошедшей под знаком телевидения на 180 строк, демонстрировались приёмники с газовой катодной трубкой, дающие изображение размером от 14 × 20 *см* до 24 × 30 *см*.

Во Франции был построен передатчик на 180 строк и также изготовлялись приёмники с катодной трубкой. В Англии талантливый изобретатель Джемс Берд разработал систему механического телевидения на 240 строк 25 кадров в секунду, установленную в Александра-Палас (Лондон).

В процессе теоретических работ и практической эксплоатации выяснилось, что механическое телевидение обладает следующими тремя принципиальными недостатками, которые могут быть преодолены только применением иных методов развёртки.

1. Увеличение числа строк разложения требует увеличения числа отверстий на диске при одновременном увеличении их размеров. Это приводит к необходимости иметь диск большого диаметра, вращаемый с большой скоростью. Установка получается громоздкой, что особенно неудобно в приёмнике. 250÷300 строк уже явилось едва достижимым пределом даже для самых совершенных конструкций.

2. В механических системах поочерёдная передача телевизионных сигналов от отдельных элементов изображения осуществляется путём поочерёдного же проектирования на фотоэлемент светового потока от каждого элемента передаваемого объекта. Поэтому энергия всего светового потока, попадающего в объектив от передаваемого объекта, не используется, а используется только $\frac{1}{N}$ часть её, где N — число элементов разложения, достигающее для хорошего качества передачи 500 000. Очевидно, что поток от одного элемента объекта чрезвычайно мал даже при очень мощных источниках света; чем больше требуемая чёткость, тем меньше этот поток, тем хуже используется энергия источника света. Поэтому, например, передачи прямого видения, т. е. передачи объектов с натуры при их естественном освещении, с большим числом строк осуществить невозможно.

3. В приёмнике яркость бегающего светящегося пятна (на плоскости диска или на экране) распределяется на всю площадь изображения, и поэтому средняя яркость изображения, воспринимаемая глазом, будет в N раз меньше, чем яркость бегающего пятна. Практически достигаемые яркости источников света оказались далеко недостаточными для того, чтобы средняя яркость изображения, особенно на большом экране, была удовлетворительной. Даже применение мощных источников света и конденсатора Керра в качестве модулятора света не позволяют получить большой экран при достаточном числе строк обычными средствами механической развёртки.

Таким образом, по мере возрастания требований к качеству изображения механические средства телевидения оказались перед перспективой своеобразной световой катастрофы.

Практика подтвердила, что к числу строк свыше 300 дорога для механического телевидения закрыта. Только электронные системы, построенные на принципах рационального использования света, оказались в состоянии решить проблему получения изображения высокого качества.

Положительная роль механического телевидения заключалась лишь в том, что оно дало возможность проверить и показать на моделях реальность основных принципов телевизионной передачи и приёма.

РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Хотя после изобретения диска Нипкова основное внимание было уделено совершенствованию механических методов развёртки, нашлись исследователи, которые уже в начале нашего века предвидели ограниченность механических систем и искали для развёртывания изображения новые, безинерционные методы.

Первым из таких исследователей был русский учёный профессор Технологического института в Петербурге Б. Л. Розинг. 25 июля 1907 г. он заявил патент на своё предложение использовать для приёма телевидения электроннолучевую трубку Брауна. По идее Розинга из испускаемого катодом трубки потока электронов вырезается узкий пучок — луч, который направляется к экрану, покрытому слоем вещества, способного флуоресцировать под ударами электронов. С помощью переменного магнитного поля место падения луча на экран перемещается в необходимых направлениях так, что флуоресцирующее пятнышко описывает строки.

Поступающий от передатчика телевизионный сигнал управляет яркостью свечения экрана. Таким образом, здесь развёртка осуществляется без помощи механических средств. Телевизионный передатчик Розинг, однако, считал целесообразным осуществить по механической системе. По пути создания смешанных систем в дальнейшем последовал целый ряд изобретателей и исследователей в Европе, некоторым из которых удалось даже построить действующие модели.

Развивая плодотворную идею применения электроннолучевой трубки в телевидении, годом позже (в 1908 г.) английский изобретатель Кемпбел Свинтон предложил применить электронный луч для развёртки также и в передатчике.

Большим затруднением в электронных системах на первых этапах их развития явилось получение хорошо сконцентрированного и управляемого электронного луча. В период с 1930 по 1938 гг. ряд исследователей за границей упорно пытались применить для получения высококачественного телевизионного изображения электроннолучевые трубки с так называемой газовой фокусировкой. Вследствие заметной инерционности процессов, происхо-

дящих в газе, наполняющем эти трубки, трубкам оказались свойственны крупные недостатки.

Успешные экспериментальные работы С. И. Катаева по применению в вакуумных телевизионных трубках магнитной фокусировки, поставленные в 1932 г. в ВЭИ, наглядно показали, что высоковакуумные трубки с магнитной фокусировкой являются значительно более совершенными и пригодными для телевизионных приёмников, нежели газовые трубки.

К 1933 г. превосходных результатов в использовании высоковакуумных трубок для приёма телевидения достиг в США д-р Зворыкин, применявший электростатическую фокусировку.

В конечном счёте к 1933 г., благодаря своему безусловному превосходству, высоковакуумные электроннолучевые трубки как с электростатической, так и с магнитной фокусировкой почти полностью вытеснили из области телевизионного приёма механические системы.

Несколько иначе шло внедрение электроннолучевых устройств в телевизионные передатчики.

На одну принципиальную возможность радикального повышения коэфициента использования света в передатчике указал в 1928 г. американский изобретатель Дженкинс. Передатчик по идее изобретателя должен представлять панель из множества отдельных фотоэлементов, каждый из которых снабжён некоторым аккумулятором, позволяющим запасать электрические заряды. Если на такую панель спроектировать оптическое изображение, то все аккумуляторы будут заряжаться одновременно. Для получения поочерёдных электрических сигналов аккумуляторы следует поочерёдно подключать к линии связи; при каждом таком подключении весь запасённый в аккумуляторе электрический заряд будет отдан в цепь полезной нагрузки. Несмотря на кажущуюся утопичность проекта и практическую невозможность осуществить коммутатор, которому для получения высококачественного изображения нужно производить десятки миллионов переключений в секунду, рациональное зерно идеи Дженкинса вошло неотъемлемым элементом в принцип действия всех современных телевизионных передатчиков.

Способ практической реализации аккумулирующей системы впервые предложил С. И. Катаев, заявивший в сен-

тябре 1931 г. привилегию на электронный передатчик с мозаичным фотокатодом. Аккумулирующее действие в этом передатчике обеспечивалось слоем микроскопических дискретных частичек фотокатода, нанесённого особым образом на тонкую пластинку диэлектрика, за счёт электрической ёмкости этих частичек по отношению к одному общему электроду. Заряжение частичек фотокатода происходит под действием света от проектируемого на мозаику изображения, а разряжение производится электронным лучом при посредстве вызываемой им вторичной электронной эмиссии. Расчёт показывает, что такая передающая трубка может обладать по меньшей мере в тысячи раз большей чувствительностью к свету, чем любая из известных механических систем.

Предложение Катаева было описано в технической литературе [1], но не получило должного отклика, повидимому, в силу недостаточного опыта работы с электронными системами у большинства телевизионных специалистов того времени. Попытки решить проблему чувствительного телевизионного передатчика механическими средствами продолжались и у нас и в других странах Европы с неослабевающим упорством. В ту пору в СССР, кроме академика А. А. Чернышёва, давшего ряд оригинальных предложений по электронным передающим и приёмным системам, насчитывалось весьма мало специалистов, в должной мере понимающих бесперспективность механических методов телевидения.

Тем не менее благодаря помощи начальника отдела связи ВЭИ А. Д. Фортушенко и в дальнейшем поддержке академика Б. А. Введенского, усмотревших в предложенной Катаевым системе существенно новое прогрессивное направление развития телевизионной техники, в 1932 г. удалось поставить работы по реализации электронного передатчика. К июню 1933 г. был найден хороший способ получения мозаики (так сейчас называется пластинка с микроскопическими дискретными фотокатодами) и получить первые обнадёживающие результаты опытов с передающей трубкой. В это время в печати появляются первые сообщения об итоге проводившихся секретно, повидимому, в течение нескольких лет крупных работах

д-ра Зворыкина (США), разработавшего весьма совершенную электронную передающую систему.

В качестве передающей трубки Зворыкин применил так называемый иконоскоп, прибор по своей идее и даже по конструкции мозаики аналогичный предложенному Катаевым. В качестве приёмной трубки была использована высоковакуумная трубка с электростатической фокусировкой, так называемый кинескоп. С помощью этой системы Зворыкину удалось осуществить хорошую передачу изображения с чёткостью около 250 строк при умеренной освещённости передаваемых объектов. Мозаика в иконоскопе была размером 10×13 сантиметров и имела фотокатод, состоящий, приблизительно, из 3 миллионов отдельных изолированных друг от друга частичек серебра, нанесённых на поверхность слюдяной пластинки и обработанных цезием.

1930—1933 гг. явились поворотными в развитии техники телевидения. Электронные системы показали на опыте своё несомненное превосходство над механическими и начали быстро вытеснять из лабораторий и опытных телевизионных установок механические передатчики и приёмники. Иконоскоп показал свою пригодность как для передач при дневном свете с большой чёткостью, так и для передач из студий и передач кинофильмов. Преимущество электронных систем было окончательно доказано.

Таким образом, можно утверждать, что по крайней мере на двух самых ответственных этапах развития телевидения, т. е. в момент зарождения первой электронной системы (1907) и в период полного перевода телевизионной техники с механики на электронику (1930—1933), творческая мысль передовых учёных нашей страны находила и позволяла предвидеть наиболее правильные способы решения труднейших принципиальных вопросов. Данное утверждение нисколько не находится в противоречии с тем общепризнанным фактом, что современная телевизионная аппаратура с её высокосовершенными кинескопами и передающими трубками начала своё триумфальное продвижение в мировую технику из Соединённых Штатов. Это объясняется лишь тем, что американская радиопромышленность в то время имела возможность вложить в это дело большие материальные средства, и шире поставить научно-исследовательские работы,

позволившие Зворыкину осуществить иконоскоп в более короткий срок. О том, что в сроках разработки иконоскопа в США сыграли большую роль именно эти факторы, свидетельствует, например, то интересное обстоятельство, что передающая трубка, фигурирующая в патентной заявке Зворыкина от 13 ноября 1931 г., ещё не содержит в себе никаких следов технического развития по сравнению с трубкой, предложенной в заявке Катаева от 27 сентября 1931 г.

Вскоре после осуществления иконоскопа различные исследователи предложили для увеличения чувствительности иконоскопа использовать явление вторичной электронной эмиссии. Так в СССР Л. А. Кубецкий сделал заявку на устройство, в котором вторичные электроны, выбиваемые из каждого элемента мозаики, направляются по очереди в электронный умножитель, за счёт чего достигается усиление сигнала.

В дальнейших конструкциях Зворыкина, в трубках фирмы Маркони (Англия), а также в заявках С. И. Катаева (1933), П. В. Шмакова и П. В. Тимофеева (1933) использовалось преобразование оптического изображения в электронное, в виде электронного потока, который воздействует на поверхность, дающую большую вторичную эмиссию. Эта поверхность развёртывается узким электронным лучом, как мозаика в иконоскопе. В США и у нас такая трубка, оказавшаяся более чувствительной, чем иконоскоп, получила название трубки с переносом изображения, а в Англии — суперэмитрона.

Наконец, пришлось решать вопросы, вызванные необходимостью передать широкую полосу частот. Полоса частот, которую без частотных и фазовых искажений должен пропускать канал, очень сильно возрастает с увеличением числа строк разложения, что усложняет устройство всех звеньев канала. Приближённые значения этой полосы для телевизионной передачи различного качества приведены в табл. 1.

Из этой таблицы видно, что передачи на 30 строк ещё можно вести на средних волнах, передачи на 60 строк уже требуют коротких волн, а 180 строк и выше можно передать только на ультракоротких волнах. Однако, радиус действия укв определяется, примерно, зоной прямой видимости с вершины антенны, и поэтому использование пе-

Таблица 1

Число строк	Число кадров в сек	Полоса частот в гц
30	12,5	7 500
60	25	60 000
180	25	540 000
350	25	2 000 000
600	25	5 400 000
800	25	10 700 000

редатчика сильно ограничивается. Выход из этого затруднения был найден в применении коаксиального кабеля, позволяющего передавать широкую полосу частот с относительно малыми потерями, и в строительстве ретрансляционных укв-радиолиний [1].

Применение развёртки через строку (так называемый «интерлесинг»), когда развёртываются сперва все нечётные строки, а затем все чётные, удаётся уменьшить необходимую полосу частот в 2 раза. При более сложных комбинациях чередования строк можно получить ещё большее уменьшение требуемой полосы.

ТЕЛЕВИЗИОННОЕ РАДИОВЕЩАНИЕ

Осуществление высококачественной электронной системы телевизионного передатчика послужило мощным толчком к развёртыванию интенсивного строительства опытных телевизионных станций во всех крупнейших странах Европы и особенно в Америке, где техника телевидения получает наибольшее развитие.

Уже в 1936 г. радиокорпорация Америки (RCA) ведёт передачи с чёткостью 343 строки при 30 кадрах в секунду, через укв-передатчик, антенна которого расположена на высочайшем здании мира — Эмпайр Стэйт Билдинг в Нью-Йорке.

---

[1] Подробнее этот вопрос изложен в статье Б. А. Введенского и Ю. И. Казначеева «Ультракороткие волны», напечатанной в настоящем сборнике.

В январе 1937 г. Национальная вещательная компания (NBC) начала экспериментальные передачи с разложением изображения на 441 строку (рис. 3).

Для телевидения было отведено 14 каналов по 2 *мггц*.

В сентябре 1938 г. Ассоциация радиопромышленников



Рис. 3. Изображение, полученное на приёмнике в системе электронного телевидения на 441 строку.

разработала проект нового стандарта на 441 строку и предложила его на утверждение Федеральной комиссии связи. Однако, ФКС от утверждения стандарта воздержалась и объявила его широкое обсуждение, надеясь, что в итоге конкуренции фирмы создадут более совершенную аппаратуру.

В начале 1939 г. в Нью-Йорке начал работать второй вещательный телевизионный центр Колумбийской вещательной системы на Крислер Билдинге,

Появился дешёвый приёмник фирмы RCA стоимостью 150 долларов типа TT5 с 5-дюймовым кинескопом и три дорогих приёмника — TRK-9 с 9-дюймовым кинескопом, TRK-12 — с 12-дюймовым кинескопом и TRK-120 с 5-дюй-



Рис. 4. Приёмник TRK-120 с экраном 34×46 *см.*

мовым проекционным кинескопом, дающим изображение 34×46 *см* (рис. 4).

К этому времени для телевидения отводится 7 каналов по 6 *мггц* в диапазоне от 44 до 108 *мггц* и ряд каналов в диапазоне от 156 до 294 *мггц*.

Интенсивные работы проводились в США в области по-

вышения чувствительности передающих трубок, поскольку стандартные иконоскопы хорошо работали лишь при достаточной освещённости объектов и не годились для передач при малой освещённости. Изобретатели Аймс и Розе в конце 1939 г. сконструировали передающую трубку большой чувствительности, названную ими ортиконом. Её отличительной особенностью является малая скорость электронов в луче и отсутствие благодаря этому явления вторичной эмиссии. Высокая чувствительность достигается за счёт полного использования фотоэмиссии. Ортикон несколько чувствительнее иконоскопа и притом совершенно свободен от свойственного иконоскопу и суперэмитрону вредного эффекта так называемого «чёрного пятна».

Передачи телевидения на большие расстояния начались в США в 1933 г. Так, передачи из Нью-Йорка (высота антенны 330 *м*) принимались трансляционной станцией на горе Арней (102 *км* от Нью-Йорка) и далее через передатчик мощностью 200 *вт* передавались в Кемден (130 *км* от Нью-Йорка). В 1936 г. компания Белла проложила из Нью-Йорка в Филадельфию и обратно (расстояние 153 *км*) коаксиальный кабель, рассчитанный на полосу частот до 2,7 *мггц*. Через каждые 17 *км* линии были поставлены усилители. Качество изображения, переданного по кабелю, было очень хорошим.

В середине 1940 г. снова встал вопрос о необходимости создания телевизионного стандарта. Разработкой стандарта занялся Национальный телевизионный комитет (НТК), организованный в июле 1940 г. из крупнейших специалистов пятнадцати заинтересованных фирм.

Стандарты, предложенные этим Комитетом в конце января 1941 г. на утверждение Федеральной комиссии, почти совпали со стандартами Ассоциации радиопромышленников, предложенными 2 года назад, с той разницей, что для передачи звука вводилась частотная модуляция с девиацией частоты $\pm$ 75 *кгц*. В конце января 1941 г. для членов ФКС были проведены демонстрации телевидения, явившиеся результатом многолетней работы лабораторий и доказавшие пригодность телевидения для коммерческого вещания.

Членам Федеральной комиссии связи демонстрировались:

1. Система фирмы Дю-Монт на 625 строк, 15 кадров в

секунду и приёмники с трубками диаметром 14 и 20 дюймов.

2. Приёмник типа TRK-120 фирмы RCA, дающий прекрасное изображение.

3. Цветное телевидение на 343 строки, разработанное д-ром Гольдмарком (Колумбийская радиовещательная система), весьма совершенное по качеству изображения. Зритель видел изображение высокой чёткости в натуральных цветах, создающее даже впечатление объёмности. Система требовала стандартного канала в 6 *мггц* и допускала приём изображения на обычный телевизор с небольшими дополнениями, удорожающими его стоимость только на 10%.

4. Передача телевидения по коаксиальному кабелю на расстоянии 312 *км* (компания Бэлла).

5. Дальняя передача телевидения на укв (фирма RCA). В Кэмп-Аптон работала телевизионная передвижка, которая давала передачу через 26 *км* на частоте 165 *мггц* на трансляционную станцию в Хауподже, далее сигнал автоматически передавался через 37 *км* на частоте 474 *мггц* на станцию в Беллмор, откуда через 45 *км* на частоте 506 *мггц* в Нью-Йорк, где принимался рупорной антенной на 62-м этаже Эмпайр Стэйт Билдинг. Общее расстояние составляло 108 *км*. Качество изображения в Нью-Йорке было очень хорошим.

6. Большой экран размером 5,5 *м* $\times$ 6 *м*, установленный RCA в кинотеатре «Нью-Йоркер». Изображение передавалось из студии на передатчик в Эмпайр Стэйт Билдинг, через трансляционные станции принималось передвижкой в Кэмп-Аптон и посылалось обратно в Нью-Йорк (всего 216 *км*). Изображение на большом экране в «Нью-Йоркере», принятое по радио, сравнивалось с изображением, полученным непосредственно из студии. Качество в обоих случаях было очень хорошим. Яркость и контрастность изображения получались такие же, как в хорошем кино. Чёткость изображения была высокой.

После этих демонстраций в конце марта 1941 г. ФКС публично обсудила стандарты Комитета, причём Комитет предложил увеличить число строк до 525, чтобы полностью использовать канал 6 *мггц*. Этот стандарт, утверждённый 2 мая 1941 г., отводил для телевидения 18 каналов в разных участках диапазона 50 ÷ 108 и 162 ÷ 294 *мггц* и

разрешал проводить коммерческие передачи цветного телевидения на 375 строк.

В ноябре 1941 г. в США вели коммерческую работу 2 станции (в Нью-Йорке и в Филадельфии) и экспериментальную работу 6 станций (две в Чикаго, одна в Лос-Анжелосе, две в Нью-Йорке и одна в Скенектеди). В разных стадиях готовности к работе находилось 22 станции. В это время коммерческое телевидение обслуживало территорию, на которую приходилось 12,7% населения, экспериментальное — обслуживало 6% населения.

К осени 1941 г. Нью-Йорк был связан радиотрансляционными линиями на укв с Скенектеди, Филадельфией и Риверхедом. Работа передатчика Эмпайр Стэйт Билдинг в Нью-Йорке принималась на расстоянии 206 *км* трансляционной станцией Дженераль Электрик на горе Хельдерберг; отсюда сигнал передавался на укв через 5 *км* на станцию в Скенектеди для обслуживания территории Ольбани — Троя—Скенектеди. Приём нью-йоркского передатчика производился также через 130 *км* станцией в Виндмуре; отсюда сигнал передавался на коммерческую станцию Филко в Филадельфии (13 *км* от Виндмура). Связь Нью-Йорка с Риверхедом (110 *км*) осуществлялась через две автоматические трансляционные станции в Хауподже и Рокки-Пойнте. Передача из Хауподжа в Риверхед производилась с частотной модуляцией. Мощность трансляционных передатчиков не превышала 1 *вт*, антенны устанавливались на башнях высотой 30 *м*.

К 1942 г. в США имелось около 7000 телевизионных приёмников, причём приёмник с 3-дюймовым кинескопом стоил уже 100 долларов.

С начала коммерческого телевещания в США число часов вещания в неделю не превышало 15. Стоимость вещания оценивалась в среднем в 300 долларов за час. Большое место в вещании занимали актуальные передачи —бокс, теннис, футбол, плаванье, баскетбол, хоккей и т. д., даваемые телевизионными передвижками.

Фирма NBC имела телевизионную передвижку, установленную на двух 10-тонных автомобилях. Уже в 1939 г. передвижка состояла из 2 камер и укв-передатчика мощностью 400 *вт* с радиусом действия 45 *км*. Эта передвижка провела много трансляций из Мэдисон Сквер-Гарден, а также применялась в июне 1940 г. для трансляции в Нью-Йорк

по коаксиальному кабелю съезда республиканской партии, происходившего в Филадельфии. Вместе с этой передвижкой для трансляции съезда применялась портативная (в 11 чемоданах) передвижка с двумя камерами. Благодаря телевидению съезд смотрели около 40 000 зрителей.

В 1941 г. RCA разработала новую передвижку — с ортиконом, состоящую из 5 единиц (камеры и 4 чемоданов, общим весом 9 пудов) с питанием от сети переменного тока. В дальнейшем к этой передвижке были добавлены 2 чемодана с укв-передатчиком и 2 чемодана с главным контрольно-коммутационным устройством для работы с несколькими камерами (каждая дополнительная камера требовала добавления ещё 2 чемоданов). Получилась телевизионная станция с радиусом действия 16 *км,* которая применялась также для передач из обычных звуковых студий, с небольшим дополнительным освещением. Однако, трансляция из театров, ночных клубов и т. д., где освещённость мала, всё же оказалась затруднительной.

В странах Европы высококачественное телевизионное вещание было начато в 1935 г., но в масштабах значительно меньших, чем в США.

ТЕЛЕВИЗИОННОЕ ВЕЩАНИЕ В СССР

Проектирование и строительство современных телевизионных центров в Москве и в Ленинграде началось в 1936 г. Основная телевизионная аппаратура для Московского центра была заказана фирме RCA. Летом 1937 г. строительство закончилось и начались опытные передачи телевидения на 343 строки. В октябре 1938 г. Московский телевизионный центр вступил в регулярную эксплоатацию. Изображение передавалось на волне 6,03 *м,* звук на волне 5,78 *м.*

К этому времени промышленность изготовила несколько сотен приёмников типа ТК-1 с 9-дюймовым кинескопом (размер изображения 14×18 *см).*

В 1940 г. Центральный научно-исследовательский институт связи закончил разработку радиоузла для трансляции телевидения по телефонным проводам. Этот узел, оборудованный в одном из крупных домов Москвы, питал несколько десятков телевизоров простой конструкции.

Московский телевизионный центр работал 6 дней в не-

делю по 4÷5 часов в день, давая в эфир кино и передачи из студии — оперы, балет, концерты, драматические постановки. Эти передачи пользовались у советского зрителя огромным успехом. По объёму вещания, качеству передач

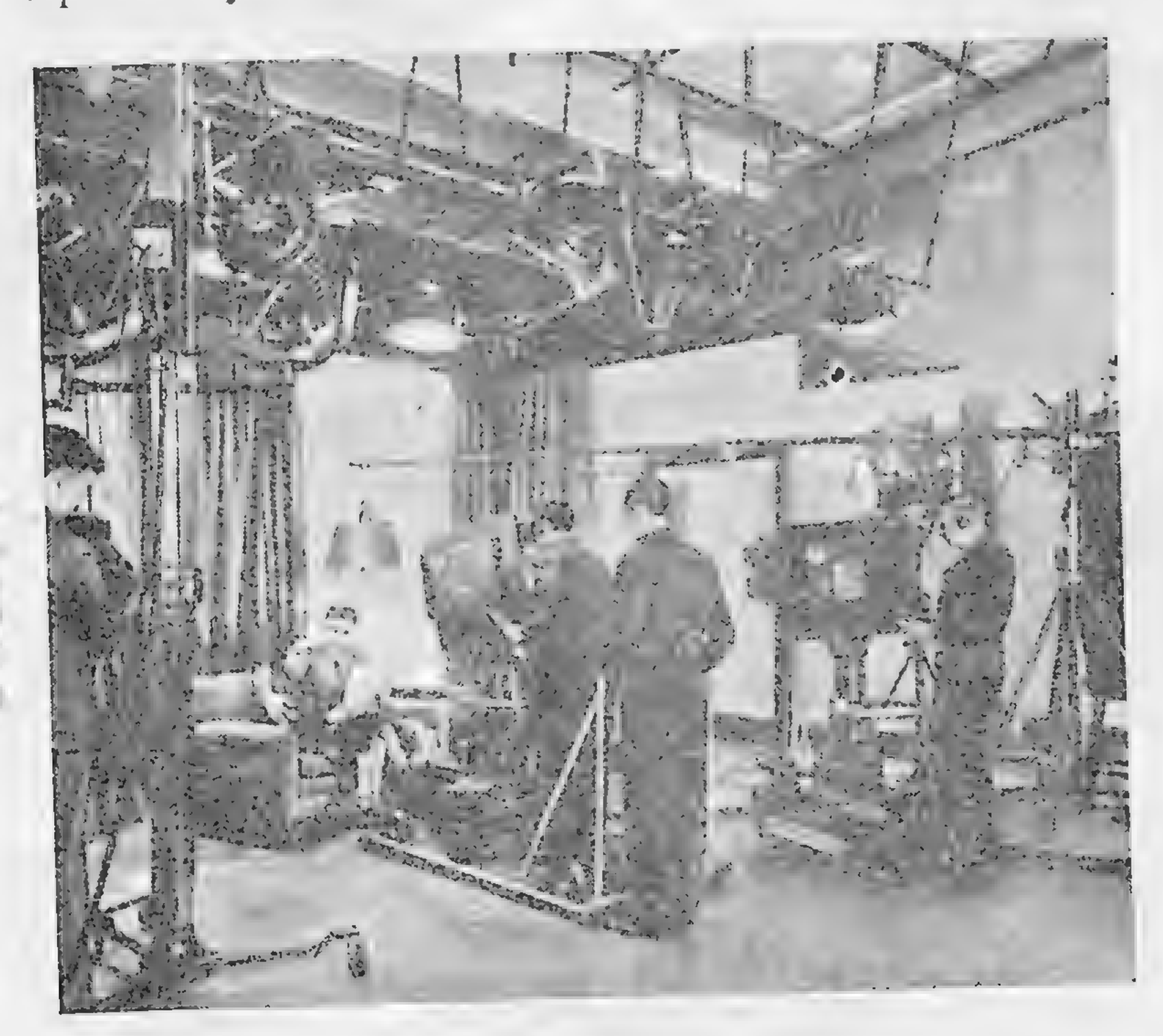


Рис. 5. Передача из студии телевизионного центра.

и накопленному опыту Московский телевизионный центр занимал первое место в мире.

Ленинградский телевизионный центр вступил в эксплоатацию несколько раньше Московского. Он построен нашей электропромышленностью целиком из отечественной аппаратуры и рассчитан на передачу изображений на 240 строк, 25 кадров с прогрессивной развёрткой. Для передач кино применена оригинальная электронная система советского изобретателя Г. В. Брауде, дающая очень хорошие результаты.

Наряду с практическим использованием телевидения, в лабораториях промышленности и в научно-исследовательских институтах проводились крупные и интересные работы по передающим и приёмным телевизионным трубкам и по массовым телевизионным приёмникам.

К 1940 г. в СССР был утверждён стандарт на 8 телевизионных электроннолучевых трубок. Появились кинескопы ЛК-707 (С-730) с диаметром экрана 230 *мм* и ЛК-715 (735 БМ) с диаметром экрана 172 *мм*, а также трубка с диаметром экрана 310 *мм*, дающая изображение 18 × 24 *см*. Были разработаны массовые приёмники любительского типа и промышленные приёмники 17ТН-1 и 17ТН-3, широкий выпуск которых намечался на 1941 год.

Развитие техники телевидения позволяло поставить вопрос об увеличении числа строк разложения, и в 1939 г. началась разработка нового телевизионного стандарта. Этот стандарт был также необходим и промышленности, поскольку его отсутствие мешало организации производства телевизионных приёмников. Новый стандарт предусматривал разложение изображения на 441 строку, при котором передача телевидения со звуком занимает в эфире канал 6 *мггц*. Стандарт был утверждён 27 декабря 1940 г., а летом 1941 г. началась реконструкция Московского телевизионного центра.

Большая работа, не имеющая себе подобных в других странах, была запроектирована в СССР по телевизионному оборудованию Дворца Советов, где намечалось построить мощный телевизионный центр, дающий передачи из Большого и Малого зала и из собственной студии.

Война приостановила осуществление этого и многих других проектов, а телевизионные центры как у нас, так и в других европейских государствах временно прекратили свою работу.

ТЕЛЕВИДЕНИЕ В ПЕРИОД ВОЙНЫ И ПОСЛЕВОЕННЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

Само телевидение не было использовано в войне, как непосредственное оружие, но некоторые методы и элементы техники телевидения нашли широкое применение, в частности, в артиллерии и в авиации (радиолокация). По этому поводу академик Б. Юрьев писал:

«Совершенно сказочными кажутся новейшие приборы, позволяющие в полной темноте, сквозь туман и дым пожаров видеть находящуюся под самолётом землю. Такие приборы дают мощное радиоизлучение вниз, а отражённые от земли волны принимаются приёмником, напоминающим телевизор. На экране появляется план местности, над которой летит самолёт, причём туман, облака и дым не мешают работе прибора.

Особо хорошо «видны» в таком приборе заводы, скопления железнодорожных составов, танков, самолётов и т. д.»[1].

Опыт, накопленный техникой телевидения в части электроннолучевых трубок, генераторов развёрток, широкополосного укв-канала, генерирования мощных коротких импульсов помогает нам и нашим союзникам в разгроме гитлеровской Германии.

Война привела к закрытию телевизионных центров в Европе, но вызвала бурное развитие радиопромышленности и некоторых специальных отраслей техники, близких к телевидению. Наряду с этим продолжаются разработки новых систем телевидения. В частности, нужно отметить разработки цветного телевидения Берда в Англии и Гольдмарка в США.

В США и в Англии уже сейчас занимаются вопросами послевоенного телевидения, обсуждают будущие стандарты и планы телевизионного вещания.

Так, в США Секция телевидения Совета по радиотехническому планированию в июне 1944 г. разработала послевоенный телевизионный стандарт. Этот стандарт, почти полностью совпадающий с существующим сейчас стандартом, оставляет 525 строк разложения, но устанавливает девиацию частоты звукового передатчика с частотной модуляцией $\pm$ 25 *кгц*. В течение 10—12 лет предполагается охватить телевизионным вещанием районы 30 крупных городов. Предусматривается работа 12 телецентров в Нью-Йорке, 10 в Бостоне, 9 в Филадельфии, 8 в Вашингтоне, 12 в Чикаго, 9 в Детройте и т. д.

Предполагается, что через 2—3 года после войны общая длина трансляционных укв-линий в США будет не менее 900 *км* по восточному берегу, а линия длиной около 2000 *км* свяжет средний запад с восточным берегом и принесёт телевидение в Питтсбург, Кливленд, Цинцинати,

[1] Газета «Известия Советов Депутатов Трудящихся СССР» № 8 (8618), 10 января 1945 г.

Детройт, Чикаго, Сэн-Луиз, Мимуоки. Таким образом, общая длина трансляционных линий укв составит около 3000 *км*. Через 5 лет после коммерционализации телевидения в США намечено иметь 157 телецентров. В год должно выпускаться не менее 2,5 миллионов приёмников ценой не дороже 200 долларов.

Предполагается, что во втором послевоенном пятилетии выпуск телевизионных приёмников достигнет 3 500 000 в год и телевидение смогут смотреть почти в каждом доме США.

У нас в СССР по инициативе Московского телевизионного центра и Всесоюзного радиокомитета разработан проект стандарта послевоенного телевидения. Этот проект является более перспективным, чем проект США, так как предусматривает разложение изображения на 625 строк при 25 кадрах в секунду, интерлесинг; передача звука выносится в отдельные каналы, что даёт возможность расширять в дальнейшем канал изображения и увеличивать число строк [1].

Через несколько лет после войны наша столица Москва должна иметь по крайней мере трёхпрограммное телевизионное вещание.

Должны быть построены телевизионные центры в ряде наших крупных городов (это намечалось ещё решением XVIII партсъезда) и укв-трансляционные линии для междугородного телевизионного вещания.

Успешные работы последних лет по большому экрану, по цветному и стереоскопическому телевидению должны быть продолжены и использованы для целей вещания.

Предстоит большая работа по созданию и массовому выпуску простых телевизионных приёмников. Уже сейчас известны новые элементы схем, которые намного упростят телевизор. Так например, англичане Наги и Годдард разработали специальную электроннолучевую трубку, которая даёт электростатическую развёртку кинескопа, непосредственно преобразуя принимаемый сигнал, содержащий простые, по сравнению с применяемыми сейчас, импульсы синхронизации в развёртывающие сигналы кинескопа. Эта трубка, названная её изобретателями «наггардом», заме-

---

[1] Расчёты показывают, что для эквивалентности телевидения кино необходимо иметь для домашнего приёмника 800 строк, для большого экрана — 1200 строк.

няет в приёмнике 5—6 ламп и позволяет упростить форму телевизионного сигнала. Вероятно после войны многие лаборатории СССР, США и Англии опубликуют много других интересных новинок в области телевидения.

Есть основания предполагать, что после войны телевидение будет широко применяться как средство диспетчерского контроля в промышленности и на транспорте (авиация, городской транспорт, железные дороги, пароходство).

Особенности нашей страны и нашего общественного строя, наши огромные пространства, наличие многих крупных жизненных и промышленных центров, расположенных на больших расстояниях друг от друга и от центра страны, приводят к тому, что радиосвязь, в том числе и в форме радиотелевидения, является у нас самым выгодным видом связи. Для охвата населения СССР телевизионным вещанием, которое будет важнейшим средством культуры, пропаганды и образования в нашем социалистическом обществе, надо использовать все технические возможности, комбинируя трансляционные линии укв, коаксиальный кабель, телефонный кабель, домовые трансляционные узлы, эфирные приёмники и иллюстрированное радиовещание по системе С. И. Катаева. Необходимо совершенствовать технику телевидения, чтобы сделать его в наибольшей мере общедоступным и высококачественным. Особое значение приобретает телевидение с большим экраном, как новый вид массового зрелищного предприятия, позволяющий значительно увеличить количество кинотеатров и расширить аудиторию театров.

Уровень развития современной техники телевидения и раскрывающиеся с каждым днём всё новые и новые возможности и формы его полезного применения, не оставляют сомнения в том, что телевидению суждено сыграть огромную роль в культурной жизни человечества.

Маршал войск связи И. Т. ПЕРЕСЫПКИН

РАДИО В ВОЙНЕ

ВВЕДЕНИЕ

Чтобы осознать колоссальное значение радио в современной войне, а в связи с этим понять и всё величие изобретения выдающегося русского учёного Александра Степановича Попова, необходимо прежде всего представить себе значение средств связи в деле управления войсками.

С возникновением массовых армий и ростом их технического оснащения возникла и естественная необходимость манёвра, быстрых перегруппировок крупных военных сил, сосредоточения сил на важнейших направлениях, часто за счёт ослабления усилий на второстепенных участках, выдвижения резервов в нужное время и в нужные места и т. д. Успешное ведение боя или проведение операции всегда требует постоянного и твёрдого воздействия воли вышестоящего военачальника на волю подчинённых ему генералов и офицеров и своевременного получения информации с поля сражения.

Развитие производительных сил систематически давало в руки военного командования новое оружие, новые средства ведения войны, а это в свою очередь оказывало решительное влияние на организацию и формы ведения боя, на методы ведения войны, на всю тактику и оперативное искусство, на координацию усилий различных военных организмов, а также на формы и методы организации управления войсками.

Великий сподвижник Маркса—Фридрих Энгельс в своих

военных статьях, изумительных по силе политической ориентации, по точному знанию условий боя, а также состава, организации и вооружения армий того времени — дал непревзойдённый анализ форм и способов ведения боя и на основе диалектических исследований вывел целый ряд важнейших положений по основам управления массовыми армиями, оснащёнными большим количеством технических средств борьбы.

В статье «Возможности и предпосылки войны Священного союза против Франции в 1852 году», написанной осенью 1851 г., Энгельс, рассуждая о возможных проблемах борьбы армии французской республики 1848 года против европейского Священного союза, говоря о применении массовых армий, указывал:

«Без усовершенствования железнодорожной сети такие массы не смогут быть ни сосредоточены, ни снабжены продовольствием и снаряжением, ни перебрасываемы с места на место. *А без применения телеграфа совершенно невозможно*[1] будет управление ими. А ввиду того, что при таких массах стратег и тактик (командующий на поле сражения) не могут быть ни в коем случае соединены в одном лице, окажется необходимым разделение труда. Стратегические операции, т. е. координация действий различных корпусов, должны будут направляться из одного центрального пункта при помощи *телеграфных линий*[1]; руководителями же тактических действий останутся отдельные генералы» (Ф. Энгельс. Избранные военные произведения, т. I, издание 2-е, стр. 41).

Приведённые высказывания Энгельса показывают, какое исключительное значение придавал он вопросам управления армиями.

В современной войне вопросы управления войсками, а в связи с этим служба и средства связи стали поистине неотъемлемым элементом организации всякого боя, всякой операции.

Колоссальная протяжённость фронтов, наличие массовых армий, насыщенных разнообразнейшей военной техникой (танки, авиация, артиллерия и т. д.), потребность подвоза в огромных количествах вооружения, снаряжения, боеприпасов и продовольствия из глубокого тыла к полям

[1] Курсив мой.—И. П.

сражений, необходимость маневрирования живой силой и техникой, координация усилий огромных масс различных родов войск для достижения единой цели — разгрома противника — требуют идеальной организации всего военного механизма, тщательной разработки всего комплекса мероприятий по управлению войсками и войсковым тылом, массового и разумного использования наличных средств связи.

Современный бой и военные операции в отличие от прошлых войн характеризуются использованием одновременно огромной массы различных родов войск, большого количества различной военной техники, скоротечностью операций и большой подвижностью войск.

Обычным явлением стали: бой в окружении, действия в глубоком тылу у противника, решение несколькими фронтами единой стратегической задачи, поставленной Главным командованием, крупные авиадесантные операции, самостоятельные действия крупных соединений и отрядов вне тактической связи с основными силами и т. д. Это требует тщательной увязки, строгой координации усилий, постоянного и точного знания начальниками, руководящими боем, обстановки на фронте, своевременной и точной передачи распоряжений.

Наша большевистская партия и лично Верховный Главнокомандующий товарищ Сталин придают исключительное значение вопросам управления и, в частности, использованию средств и службы связи в системе управления войсками.

В своих приказах и выступлениях во время Отечественной войны товарищ Сталин неизменно призывал всемерно улучшать дело связи.

В призывах ЦК ВКП(б) к 27-й годовщине Красной Армии перед работниками связи Красной Армии была поставлена задача:

> «Связисты Красной Армии! Помните, что связь—это нерв Красной Армии, важнейшее условие управления боем и взаимодействия всех родов войск! Всемерно улучшайте дело связи!»

И войска связи, непрерывно совершенствуя своё мастерство, с честью выполняют стоящие перед ними задачи, обеспечивая Красной Армии действительно надёжную и бесперебойную связь. Свидетельством этому являются при-

казы Верховного Главнокомандующего Маршала Советского Союза товарища Сталина, в которых, наряду с остальными родами войск, отмечаются и войска связи, отличившиеся в боях с ненавистным врагом.

Особенности современных военных операций, а также огромная насыщенность поля боя огневыми средствами, в значительной мере затруднили использование проводных и иных средств связи и заставили отвести решающее, основное место радиосвязи.

Радио как военное средство связи нашло применение вскоре после его изобретения А. С. Поповым сначала в военно-морском флоте, а затем и в армии. Первым этапом в развитии военного радио безусловно нужно считать широко известную Гогландскую операцию по снятию со скал броненосца русского военно-морского флота «Генерал-адмирал Апраксин». Практические успехи радио, достигнутые в этой операции, и особенно случай с вызовом корабля «Ермак» для спасения рыбаков, унесённых в море на оторвавшейся льдине, заинтересовали передовые военно-морские круги и привлекли внимание общественности. В результате Попову предоставляются некоторые возможности для экспериментирования, что сразу сказалось на практических успехах. В 1901 г. на кораблях Чёрного моря удаётся получить дальности связи по радио до 150 *км.*

РАДИОТЕЛЕГРАФ В РУССКО-ЯПОНСКОЙ ВОЙНЕ

Вначале изобретение радиотелеграфа, несмотря на его ценнейшие тактико-технические свойства, не было по достоинству оценено высшим командованием русской армии. Потребовалось целое десятилетие, чтобы только единицы войсковых радиостанций появились на полях Манчжурии. Отсталость, «шапкозакидательство» и самовлюблённость армейского командования не дали возможности быстрыми темпами внедрить радиотелеграф как одно из могучих средств управления.

Сам же А. С. Попов, хотя и был работником морского ведомства, во-время принимал должные меры, настойчиво предлагая испытать радио в сухопутных войсках. Будучи совершенно убеждён в надёжности действия радиотелеграфа, тактически правильно оценивая значение радио-

связи, но не получая широкой поддержки, Попов становится на путь использования личной инициативы. При помощи капитана Троицкого были найдены заброшенные военные повозки. Силами своего небольшого коллектива Попов приспособил эти повозки под радиостанции, явившиеся первыми походными радиостанциями в мире. Таким образом, приоритет в деле применения радио в армии остался за А. С. Поповым.

Используя личное знакомство с командиром гвардейского полка, расположенного в Кронштадте, изобретатель организовал испытание походных радиостанций на манёврах полка. Однако, несмотря на положительные результаты, полученные при испытаниях первых полевых радиоустановок, предложенных Поповым, они не получили распространения и русская армия к началу войны с Японией своих радиосредств не имела.

По существу, в начале войны технические средства связи вообще не были применены. Только уроки первых поражений показали недооценку противника и особенностей войны.

Война на отдельных этапах приняла маневренный характер, борьба часто велась на разрозненных участках фронта, требовалась организация взаимодействия пехоты и конницы, пехоты и артиллерии. Все эти новые моменты оперативно-тактического порядка заставили пересмотреть отношение командования к техническим средствам связи. Люди поняли всю необходимость использования этих средств. Почувствовалась острая необходимость и в радиотелеграфе.

Снабдить армию своими отечественными радиосредствами в ходе Русско-японской войны было невозможно, из-за больших удалений от центра и из-за отсутствия промышленной базы и кадров. Главное командование пошло по наиболее простому пути и закупило радиостанции у заграничных фирм (характерно, что Россия купила радиостанции, смонтированные на 16 двуколках каждая, тогда как были уже образцы станций на 6 двуколках). К весне 1905 г. действующая армия получила 16 искровых радиостанций, сформированных в две радиотелеграфных роты. Радиороты имели станции, дававшие дальность связи до 30 *км*. Хотя эти дальности были недостаточны для удовлетворения всего многообразия тактической потребности

в радиосвязи, всё же радиостанции зарекомендовали себя с хорошей стороны.

На отдельных участках фронта радиотелеграф помог значительно улучшить управление, чем был поднят авторитет радиосвязи в глазах некоторой части общевойсковых начальников. Но всё же массового применения из-за допущенных перед войной ошибок радиотелеграф в Русско-японскую войну не нашёл. Потребовалось ещё десятилетие, чтобы в первой мировой войне увидеть значительно более широкое использование беспроводного телеграфа.

РАДИОСВЯЗЬ В ПЕРВУЮ МИРОВУЮ ВОЙНУ

Русско-японская война показала всему миру, что новое средство связи — радиотелеграф — может быть очень полезным в условиях как сухопутной войны, так и, особенно, войны на море.

Возможности широкого применения радиотелеграфа в армии и флоте сулили богатые перспективы для развития нарождающейся молодой радиопромышленности. Стали организовываться крупные предприятия с хорошо оборудованными лабораториями и опытными радиостанциями. К работам по усовершенствованию способов радиопередачи были привлечены лучшие специалисты во всех странах и это, безусловно, плодотворно отразилось на усовершенствовании военных и военно-морских радиостанций.

В 1907 г. завод Сименс и Гальске (общество «Телефункен») выпустил передатчик системы Вина с многократным разрядником, а в 1908 г. заводы Маркони выпустили передатчики с вращающимся разрядником. В 1910 г. эти радиостанции приобрели законченный вид и явились основным типом радиостанций на вооружении русской армии перед первой мировой войной.

Своей отечественной радиопромышленности в России в ту пору не было. Заводы в Петербурге, изготовлявшие радиостанции для полевых войск и морского ведомства, в отношении сырья и технического персонала являлись филиалами заводов Сименс и Гальске и находились в полной зависимости от Берлина. Естественно, что с началом войны оснащение русской армии радиосредствами необычайно усложнилось.

В момент мобилизационного развёртывания русская армия имела при каждом штабе армии одну искровую роту с восемью радиостанциями с расчётом организации радиосвязи до корпуса включительно. В коннице радиостанции были доведены до каждой кавалерийской дивизии.

Никакого опыта в организации радиосвязи русская армия не имела.

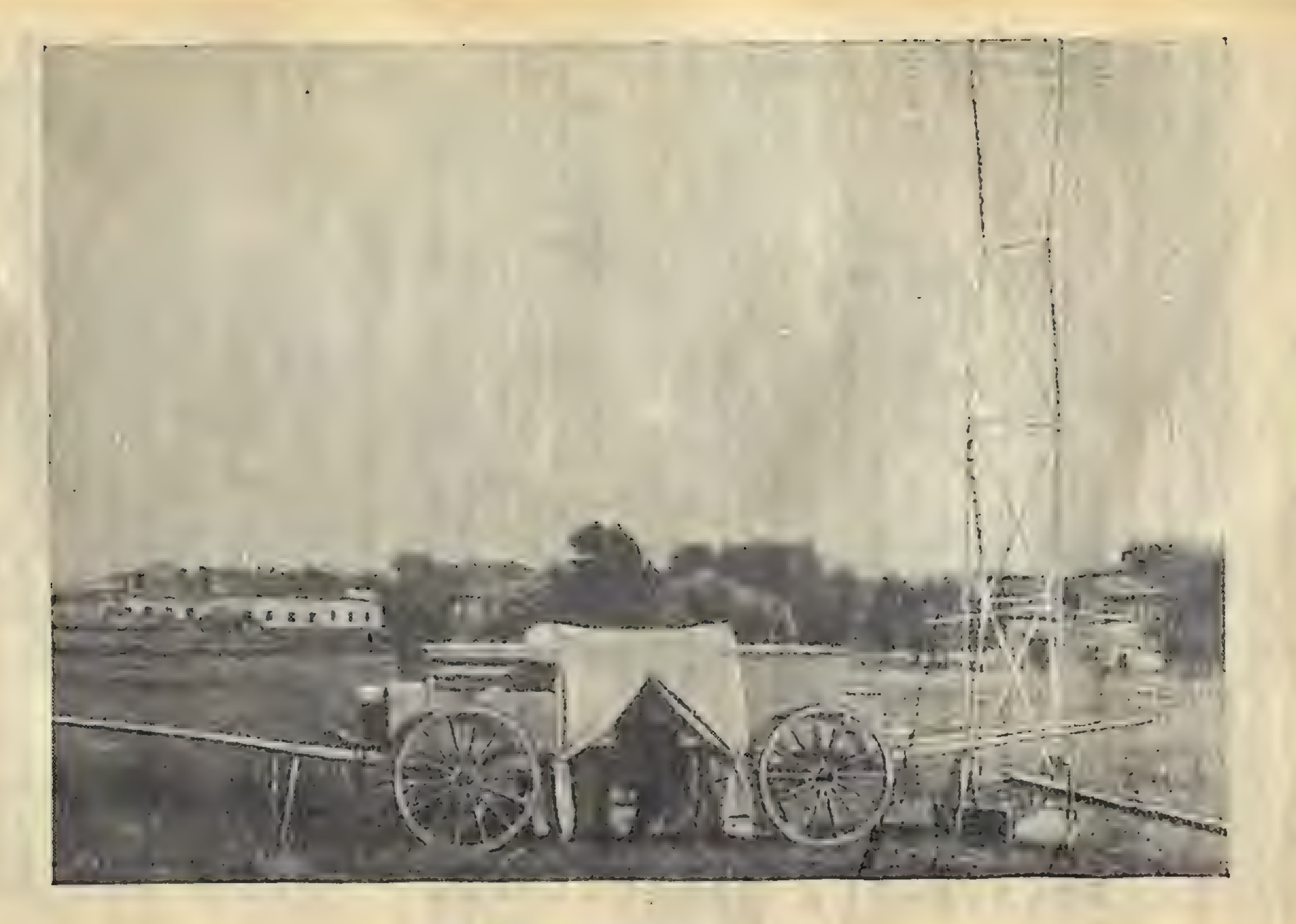
Даже многие офицеры искровых рот, выезжая на войну, неясно представляли себе будущую работу. Ещё в меньшей степени знало и понимало значение и методы использования нового средства связи командование.

Неправильно, однако, думать, что подобного рода положение было только в русской армии. В начале войны западно-европейские сухопутные армии, будучи вообще богаче нас техникой, радиосредств имели значительно меньше, чем русская армия. Так, в германской армии имелось всего около 40 полевых радиостанций, а в английской и того меньше.

Это объясняется тем, что радиотелеграфу как новому средству связи ещё не доверяли и поэтому не спешили им обзаводиться.

В вопросах использования радиосвязи западно-европейские армии также далеко не ушли, а иногда и отставали от русской армии в умении организовать радиосвязь и пользоваться ею. Например, в германской армии конный корпус Фон-Морвица в октябре 1914 г. во время знаменитого «бега к морю» ежедневно, с немецкой педантичностью, нешифрованно сообщал по радиотелеграфу обо всех своих передвижениях.

Потребовалось определённое время, чтобы во всех армиях под влиянием уроков войны (иногда кровавых) изменилась оценка радиосвязи и отношение к ней со стороны командования, а также накопился опыт применения и использования радиосредств. Опыт войны не только показал целесообразность применения этого нового средства связи, но в ряде случаев выявил его абсолютную незаменимость и буквально спасительные свойства. В результате постепенно укреплялось мнение о пользе радиосредств и необходимости возможно более широкого использования их в военном деле. Посыпались требования командования о доведении радиосвязи до самых малых звеньев армии. Мотивировалось это усилением огня противника на поле боя



Полевая радиостанція 1913 года.

и невозможностью поддержания связи проводными и иными средствами.

Промышленность западно-европейских стран, не подготовленная к войне, не успевала удовлетворять возросшие потребности армии в радиосредствах. В особенно тяжёлом положении оказалась Россия, где отечественной радиопромышленности почти не было. Поэтому русская армия была вынуждена до конца войны оставаться со старой техникой радиосвязи. Новую технику, несмотря на настойчивые обращения к союзникам, русская армия получала в весьма ограниченном количестве, так как союзники сами вследствие возросших потребностей терпели недостаток в радиоимуществе. Вдобавок ко всему из-за общей неорганизованности в царской армии и стране даже высылаемые грузы часто подолгу задерживались в Архангельском порту.

Делая из сказанного краткие выводы, можно констатировать, что мировая война впервые в широких масштабах показала огромное значение радиосвязи в военном деле. Радио, насчитывавшее в своём развитии полтора десятка лет, быстро завоевало по праву принадлежащее ему место в ряду военных средств связи.

Россия же, являющаяся родиной радиотелеграфа, не сумела обеспечить быстрое его развитие и внедрение в широких масштабах в армию вследствие своей общей технической отсталости и полной зависимости от западноевропейской промышленности, порождённых косностью и невежеством бюрократического царского правительства.

РАДИОСВЯЗЬ В ГРАЖДАНСКОЙ ВОЙНЕ

Великая Октябрьская социалистическая революция коренным образом изменила положение в стране и вызвала к жизни всё передовое, всё гениальное в народе и армии.

В чрезвычайно трудных условиях, создавшихся в стране к моменту перехода власти в руки Советского Правительства, в короткие сроки было сделано очень многое, чего не могла сделать старая дореволюционная Россия.

Русская армия имела лишь небольшие ресурсы средств связи, которыми могла воспользоваться нарождающаяся Красная Армия. Полевое имущество связи, бывшее на

фронтах, оказалось в большей своей части брошенным или захваченным немцами. Значительные запасы новой аппаратуры и радиотелеграфного имущества, в своё время присланного Антантой, осталось в Архангельске и в дальнейшем было захвачено интервентами.

Между тем маневренный характер гражданской войны на многочисленных фронтах особенно требовал полевых средств связи. Поневоле командование, чтобы обеспечить управление, привязывало штабы к сохранившимся постоянным линиям связи, вдоль больших магистралей и железных дорог. В этих условиях исключительно возросла потребность в радиосредствах и часто радио являлось единственным средством связи.

В деле развития радио как в годы гражданской войны, так и в последующие годы укрепления, развития и роста нашей молодой Советской республики, исключительно велика роль Владимира Ильича Ленина.

Гениальный Ленин сразу же оценил значение радио как в военной, так и в других областях развития нашей страны. Он неоднократно указывал на огромное значение радио и не переставал заботиться о всемерном его развитии в России.

С первых шагов революции Владимир Ильич прибегнул к помощи радио.

7 ноября (25 октября ст. ст.) радиостанция крейсера «Аврора» передала сообщение о создании Советского Правительства. Затем через мощную радиостанцию было передано знаменитое воззвание «Всем. Всем.», подписанное т. Лениным. Заметим, что этим впервые в мире претворилась в жизнь идея радиовещания.

По указанию Ленина в 1918 году была создана Нижегородская радиолаборатория, которая самостоятельно, в условиях блокады нашей страны, начала разрабатывать мощные лампы и ламповые радиостанции.

Владимир Ильич Ленин придавал чрезвычайно большое значение радиосвязи в Красной Армии, в частности, при создании Первой Конной Армии он настаивал на том, чтобы эта армия в достаточной степени была снабжена радиостанциями. В октябре 1919 г. Ленин проявляет специальную заботу о снабжении радиостанциями Южного фронта, где товарищ Сталин готовил разгром деникинской армии.

Благодаря заботам В. И. Ленина, Красная Армия сумела собрать все наличные радиосредства и эффективно использовать их для связи в условиях гражданской войны.

В целях создания новых современных образцов радиостанций для Красной Армии начали создаваться проектные бюро и лаборатории при заводах, был открыт Научно-испытательный институт связи Красной Армии. Однако, для создания, испытания, массового производства и широкого внедрения новой радиоаппаратуры требовалось время, и поэтому до 1922 г. Красная Армия базировалась на старую технику.

И всё же, несмотря на чрезвычайно невыгодные условия, основы перевооружения Красной Армии новой, более современной радиоаппаратурой, были заложены именно в тяжёлые для нашей страны годы — годы гражданской войны. В этом величайшая заслуга Владимира Ильича Ленина.

РАЗВИТИЕ ВОЕННОЙ РАДИОТЕХНИКИ В ПЕРИОД МЕЖДУ ГРАЖДАНСКОЙ И ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНОЙ

По окончании гражданской войны, с переходом страны на мирное строительство, общее восстановление народного хозяйства позволило молодой советской радиопромышленности освоить в относительно короткие сроки выпуск новых образцов радиостанций. В 1923 г. в высшей военной школе связи была разработана первая ламповая радиостанция, а в следующем, 1924 г. промышленность выпустила образцы ламповых радиостанций для связи в звене дивизия — полк. Работы Научно-испытательного института связи Красной Армии положили начало появлению новых типов ламповых радиостанций и созданию конструкций антенн, которые до сих пор применяются в маломощных радиостанциях. Массовое производство новых радиоламп, ламповых передатчиков и приёмников совершенно изменило облик радиовооружения Красной Армии.

Работы Научно-испытательного института связи Красной Армии положили основу расчёта и инженерного конструирования радиотелефонных станций. Институт добился настолько высокого качества радиотелефонной передачи, что его опытный передатчик в Сокольниках (радиостанция

им. А. С. Попова) одним из первых в Советском Союзе начал регулярное радиовещание.

В 1926 г. произошёл переход на короткие волны и появились новые, более совершенные образцы радиостанций, которые оставались в армии до самого начала Отечественной войны.

К моменту возникновения конфликта на КВЖД в 1929 г. Красная Армия была оснащена вполне современными радиостанциями в количестве, позволявшем организовать радиосвязь до стрелкового полка включительно. К этому же времени была организована устойчивая радио связь между Москвой и Владивостоком.

Широкое развитие радиотехника в Красной Армии получила за годы сталинских пятилеток. Благодаря общему росту промышленности в стране окрепла наша электропромышленность, а вместе с ней и радиопромышленность.

Образцы радиостанций РБ, РБМ и др., разработанные в 1938—1939 гг., не уступали, а в некоторых отношениях и превосходили аналогичные образцы, разработанные в передовых зарубежных странах. Многие типы наших радиостанций до сих пор являются достаточно совершенными и ни в какой степени по своим качествам не уступают новым образцам, разработанным как нашими союзниками, так и нашим врагом в ходе Отечественной войны.

Количество выпускаемых нашей промышленностью радиостанций возросло в такой степени, что к моменту, когда Красной Армии пришлось драться с японцами на Хасане и Халхын Голе войска Красной Армии имели радиосвязь до стрелкового батальона включительно.

В войне, спровоцированной белофиннами в 1940 г., насыщенность радиосредствами в Красной Армии была уже такой, что только в одной из армий, действовавших на Карельском перешейке, имелось около 5000 различных радиостанций. К этому же времени были сконструированы и испытаны в боевых условиях первые образцы ультракоротковолновых радиостанций.

Многогранность задач, стоящих перед радиосвязью Красной Армии, потребовала от промышленности освоения различных типов радиостанций, от портативной радиостанции для роты, до мощной радиостанции для оперативного соединения. Появилась необходимость в создании более совершенных самолётных, танковых и других специ-

альных радиостанций. Благодаря успешной работе промышленности Красная Армия получила на вооружение все необходимые типы радиостанций (примерно 35 образцов) с различными тактико-техническими свойствами, что позволяет обеспечить радиосвязью все рода войск во всех формах современного боя.

Таким образом, благодаря неустанным заботам о Красной Армии мудрого вождя и великого полководца товарища Сталина, напряжённой работе научно-исследовательских учреждений и конструкторских кадров Красной Армии, а также успешной работе радиопромышленности, наши вооружённые силы вступили в Отечественную войну хорошо оснащёнными современными радиосредствами.

РАДИО В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЕ

22 июня 1941 года фашистская Германия вероломно напала на нашу миролюбивую страну, грубо и подло нарушив договор о ненападении. Враг, обладая численным превосходством отмобилизованных, вооружённых новейшей техникой и имеющих почти двухлетний опыт войны войск, рассчитывал «покончить» с Советским Союзом в полтора—два месяца и дойти до Урала.

Немецкие захватчики рассчитывали, что после первого удара Красная Армия будет разбита и потеряет способность сопротивления. Но немцы жестоко просчитались и их сумасбродный «молниеносный» план разгрома России провалился в первые же месяцы войны. Кадровая Красная Армия в тяжёлых сражениях первых месяцев войны, обескровливая врага, обеспечила развёртывание резервов нашей страны в полном объёме.

Стремясь нарушить управление действующими войсками и сорвать отмобилизование страны, немецкое командование, используя своё первоначальное количественное превосходство в авиации, обрушилось непрерывной бомбардировкой на наши пути сообщения и особенно средства связи.

Специальная авиация противника, вооружённая специальными бомбами для разрушения узлов и линий связи, буквально висела над магистралями телеграфно-телефонных линий. Отдельные самолёты противника часами кружились

над пунктами, в которых сходились постоянные линии, не позволяли вести работы по их восстановлению и даже преследовали отдельных связистов. Частые перерывы телеграфно-телефонных связей ставили управление войсками в очень тяжёлое положение и требовали перевода управления во многих случаях исключительно на радиосвязь.

Однако, в сложной и чрезвычайно тяжёлой обстановке первого этапа войны, многие наши командиры не всегда умели целесообразно использовать для управления войсками имеющиеся в войсках радиостанции.

Методы применения радиосвязи были ещё недостаточно разработаны, нехватало опыта современной войны. В ряде частей и соединений появилась пресловутая «радиобоязнь», кое-кому казалось, что противник обстреливает и бомбит штабы только потому, что в местах их расположения работают радиостанции. В таких частях и соединениях радиостанции или совсем не работали, или развёртывались на чрезвычайно большом удалении от командных пунктов.

Всё это приводило к тому, что радиосвязь, наименее уязвимая нападением противника, не обеспечивала должного управления войсками.

23 июля 1941 года Народный комиссар обороны товарищ Сталин отдал специальный приказ, в котором определил роль и значение радиосвязи в современной войне, «как наиболее надёжной формы связи и основного средства управления войсками... в подвижных формах современного боя». Приказ требовал «под личную ответственность командиров и комиссаров частей и соединений, военных советов армий и фронтов немедленно обеспечить полное использование радиосредств для управления войсками...». Приказом были определены новые методы использования радиосвязи и введены для командиров соединений личные радиостанции, которые в дальнейшем сыграли огромную роль в деле управления войсками, а с 1943 г. стали неотъемлемой частью организации радиосвязи всякого боя и сражения.

После этого приказа радио стало широко внедряться во все войсковые организмы и неоднократно в самые сложные моменты сражений обеспечивало непрерывное управление не только в низовых звеньях, но и Ставке Верховного Главнокомандующего. Достаточно указать на то, что в периоды наиболее сложной обстановки на Брянском

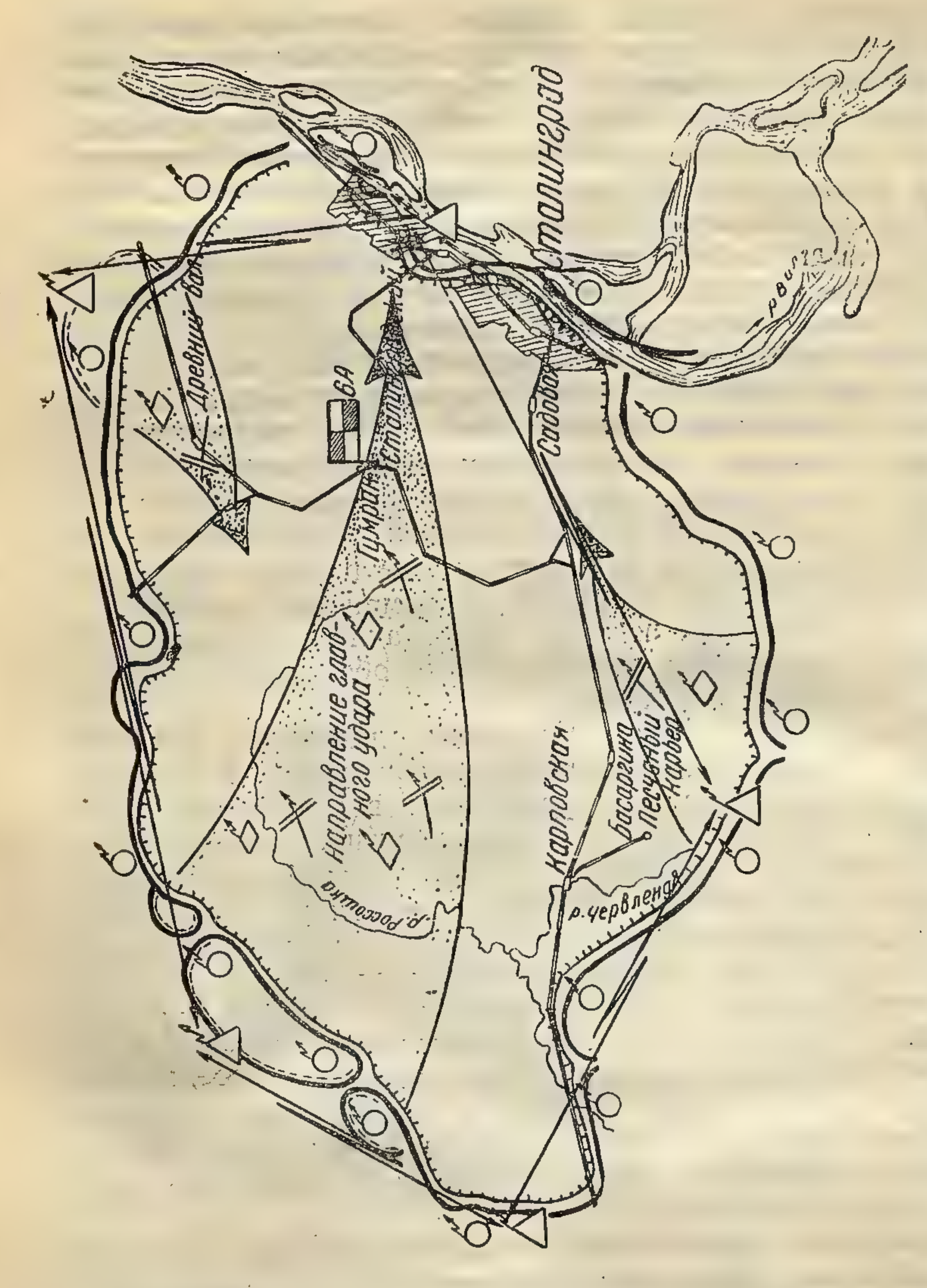


Схема радиосвязи Донского фронта во время операции по окружению и уничтожению немецких армий под Сталинградом.

фронте, когда немцы рвались к Орлу и Туле (1941), на Южном и Юго-Западном фронте, северо-западнее, восточнее и южнее Ворошиловграда, когда фашистские разбойники стремились выйти к Волге (лето 1942 г.), а также при сражении в Крыму в мае 1942 г. и в целом ряде других случаев (рейдирующий корпус Белова и т. д.), несмотря на большое удаление армий от Москвы, Верховное Главнокомандование Красной Армии имело устойчивую радиосвязь непосредственно со штабами армий, управляло ими и получало необходимую боевую информацию. Это стало возможным только при наличии средств радиосвязи и правильном использовании их.

Как пример, характеризующий огромное значение радиосвязи в современных условиях, назовём радиосвязь штабов партизанского движения со штабами партизанских отрядов и партизанскими районами. Радиосвязь позволила управлять широкоразветвлённой сетью партизанских отрядов на оккупированной немецкими захватчиками территории нашей страны.

Особо широкое применение радиосвязи началось с переходом Красной Армии к наступательным операциям. В исторической операции по окружению и уничтожению немецких армий под Сталинградом было использовано около 9000 различных радиостанций, обеспечивших надёжное управление войсками.

В ходе Отечественной войны войска Красной Армии, руководимые Великим полководцем, овладели новой тактикой — тактикой маневрирования. В приказе от 23 февраля 1943 г. товарищ Сталин указал, что

> «В ходе войны Красная Армия стала кадровой армией. Она научилась бить врага наверняка с учётом его слабых и сильных сторон, как этого требует современная военная наука. Сотни тысяч и миллионы бойцов Красной Армии стали мастерами своего оружия... Десятки тысяч командиров Красной Армии стали мастерами вождения войск. Они научились сочетать личную отвагу и мужество с умением руководить войсками на поле боя, отрешившись от глупой и вредной линейной тактики и став прочно на почву тактики маневрирования».

В условиях тактики маневрирования связь должна ра-

ботать особенно чётко и бесперебойно, что возможно только при правильном использовании средств радиосвязи. Ставка Верховного Главнокомандующего в своих директивах указывала, что «при организации связи с войсками считать связь надёжной в том случае, если имеется хорошо налаженная радиосвязь». Это указание Ставки об обеспечении связи в маневренном бою и сражении потребовало пересмотра методов организации и количественного состава радиосредств в частях и соединениях.

Сталинская тактика маневрирования сделала организацию радиосвязи по направлению основным методом обеспечения радиосвязи в наступательном бою на решающем участке наступления.

Сталинская тактика маневрирования для обеспечения надёжной радиосвязи заставила ввести систему многоканальности радиосвязи.

Сталинская тактика маневрирования окончательно внедрила в управление войсками обязательное установление радиосвязи личными радиостанциями командующих фронтов, армий, корпусов, дивизий, бригад.

Сталинская тактика маневрирования внедрила в практику установление радиосвязи через одну командную инстанцию. Этот способ установления радиосвязи позволяет Ставке иметь непосредственную радиосвязь со всеми действующими армиями, помимо связи через штабы фронтов; командующему фронтом иметь непосредственную радиосвязь с командирами корпусов и дивизий, помимо связи с ними через штабы армий и т. д.

Сталинская тактика маневрирования, требующая особой мобильности органов управления войсками потребовала введения в звене Ставка — фронт, фронт — армия буквопечатания по радио.

Сталинская тактика маневрирования потребовала постоянного совершенствования боевой подготовки войск.

Подготавливая историческое летнее наступление Красной Армии в 1943 г., товарищ Сталин в своём приказе от 1 мая 1943 года приказал: «Всем бойцам — пехотинцам, миномётчикам, артиллеристам, танкистам, лётчикам, сапёрам, связистам, кавалеристам — продолжать без устали совершенствовать своё боевое мастерство...»

В исполнение этого приказа радисты Красной Армии, неся боевую вахту, начали особо работать над совершен-



Радист гвардии сержант Симонов участник боёв на Ленинградском фронте. Однажды в бою взрыв вражеского снаряда засыпал Симонова. Несмотря на ранение он остался на посту и продолжал работу.

ствованием своей специальности. К дням июньского сражения под Курском — Харьковом в Действующей Красной Армии насчитывались десятки тысяч классных радистов, подготовленных на поле боя. Насыщенность армии радистами—мастерами своего дела—сказалась на обеспечении радиосвязью непрерывного наступления, начатого в июле 1943 г. под Орлом, Курском, Харьковом.

Операция по форсированию Днепра в 1943 г. особо подчеркнула важность радиосвязи в низовом войсковом звене; радиосвязь благодаря героической работе радистов пехотных и артиллерийских передовых радиостанций обеспечила быстрое и успешное проведение этой операции.

Насколько широко радиосвязь внедрилась в управление войсками Красной Армии показывает, например, Белорусская операция 1944 года. В операции по очищению Белорусской республики от немецких захватчиков участвовало одновременно 27 174 радиостанции различного типа, обеспечивавших связь командования фронтов, армий, корпусов, дивизий, полков и батальонов и связь взаимодействия между массами пехоты, кавалерии, танков, артиллерии и авиации. Радио обеспечило развёртывание точно по часам огромных бронированных клещей с севера от Витебска на Минск войсками генерала армии Черняховского и с юга вдоль Пинских болот на Брест войсками Маршала Рокоссовского. Каковы результаты этих «клещей» и «котлов» знает весь наш Союз, а москвичи частично видели их на улицах Москвы, в виде 60-тысячной колонны пленных фрицев.

Работа войск связи высоко оценена правительством и партией. Среди частей связи сотни удостоены высоких правительственных наград, а некоторые, в том числе и отдельные радиодивизионы, дважды награждены орденами Советского Союза. Среди личного состава войск связи более полутораста человек получили звание Героя Советского Союза, в этой когорте числится не один десяток радиоспециалистов. Многие десятки тысяч бойцов, сержантов, офицеров и генералов войск связи награждены орденами и медалями Советского Союза.

Использование радио для управления войсками, подробно рассмотренное в настоящем обзоре, является лишь основным, но не единственным применением радио в воен-



Сержант Соколов И. И. и рядовой Старовойтов Г. М., отличившиеся в боях за прорыв блокады Ленинграда.

ном деле. Помимо этого радио во время войны используется:

а) как средство разведки противника,

б) как средство обнаружения авиации противника и оповещения о её появлении,

в) как средство наведения авиации на цель,

г) как средство управления боевыми механизмами на расстоянии,

д) как средство маскировки,

е) как средство агитации.

Красная Армия широко использует радио во всех этих областях и это использование помогает ей разгромить немецких захватчиков.

Однако, перед генералами и офицерами Красной Армии стоят ещё серьёзные задачи по расширению областей применения радио в деле защиты страны. В этом немалую роль сыграют и учёные, инженеры и техники, работающие в области гражданского и народнохозяйственного применения радио.

Социалистическая система нашего государства, патриотизм людей, работающих в области развития радио, преданность делу и высокое мастерство бойцов, сержантов, офицеров и генералов войск связи, а также постоянная забота о связи и руководство товарища Сталина — позволили поднять радиосвязь в Красной Армии на небывалую в истории высоту.

Радио гениального Попова стало для Красной Армии прекрасным средством связи и средством обороны страны.

Проф. В. В. ШИРКОВ

РАДИО В АВИАЦИИ

Руководство полётом всякого самолёта, военного или гражданского, осуществляется с земли. Разница может быть лишь в том, что при полёте военных самолётов целыми соединениями связь с землёй поддерживается лишь командиром соединения, но это не исключает возможности и для всех остальных в случае надобности связаться со своей базой непосредственно.

Безотказная возможность в любой момент информировать руководителя, находящегося на земле, об обстановке, в которой протекает полёт, и получить от него в свою очередь все необходимые указания и сведения является одним из условий удачного полёта и наиболее полного устранения опасностей, которые могут во время него встретиться.

Пилот сообщает диспетчеру воздушного движения, если дело касается гражданской авиации, или дежурному штурману военного аэродрома своё местонахождение, высоту над землёй, условия погоды и т. п., запрашивает те или иные сведения или указания, если обстановка изменилась, получая в ответ указание продолжать полёт или прекратить его, сделав посадку на том или ином аэродроме, предупреждения о предстоящих изменениях погоды и опасном соседстве с другими самолётами и т. п.

Связь самолёта с землёй осуществляется как по радиотелеграфу, так и по радиотелефону. При радиотелефонной связи пилот может вести переговоры с диспетчером или дежурным штурманом аэродрома непосредственно без помощи радиооператора на земле и бортрадиста на самолёте, участие которых необходимо при радиотелеграфной

связи, когда обмен происходит путём передачи радиограмм по телеграфному коду Морзе.

Пилот, ведущий телефонный разговор с диспетчером линии (рис. 1), запуск всей передающей станции, находящейся на его самолёте, производит простым нажатием кнопки на микрофоне, который он держит в руке. На рис. 2



Рис. 1. Пилот, ведущий разговор с диспетчером.

показаны два диспетчера одной из воздушных линий США, где радиотелефон особенно широко применяется для связи с самолётами. Запуск радиопередатчиков и перестройка их на нужные волны совершаются с помощью одного поворота наборных дисков телефонного типа, которые видны на рисунке.

Радиотелеграфная связь имеет свои преимущества на трассах большого протяжения, например, у нас в Союзе или на трансокеанских воздушных путях, так как в этом случае при одной и той же мощности передатчика достигается бóльшая дальность, чем при радиотелефонной связи.

Применение радиотелеграфа на воздушных линиях, пересекающих границы нескольких государств, как это имеет

место в Западной Европе, удобно в том отношении, что при этом устраняются ошибки, происходящие от недостаточного знания иностранных языков. Кроме того, радиотелеграф допускает широкое использование кодовых сокращений.

По понятным соображениям самолётные передатчики должны иметь незначительные габариты и вес, что ограничивает их мощность. Обычно мощность, отдаваемая самолётным передатчиком в антенну, лежит между 40 и 80 *вт*. Радиостанции лёгких военных и гражданских самолётов имеют значительно меньшую мощность, составляющую 1÷10 *вт*. В противоположность этому самолёты, предназначенные для дальних полётов, снабжаются радиостанциями мощностью до 150 *вт*. Самолётные антенны имеют вид или свисающего гибкого провода с грузиком обтекаемой формы на конце (выпускные антенны) или натягиваются над или под фюзеляжем самолёта (рис. 3).



Рис. 2. Диспетчеры воздушной линии.

Мощности наземных передатчиков, применяемых для связи с самолётами, составляют от 100 до 200 *вт* для работы на сравнительно коротких участках трасс и до

3÷4 *квт* для передатчиков, устанавливаемых на радиоцентрах трансокеанских магистралей.

Радиосвязь нашла применение в авиации ещё в то время, когда выгоды практического использования коротких волн не были известны и авиация пользовалась волнами порядка 700÷1500 *м*. По мере удлинения воздушных трасс дальности, которые достигались в этом диапазоне, оказались недостаточными. Лучшее использование мощности передатчиков и меньшие потери энергии при её распространении обусловили то широкое применение коротких и промежуточных волн (25÷140 *м*), которое сейчас наблюдается в авиации.

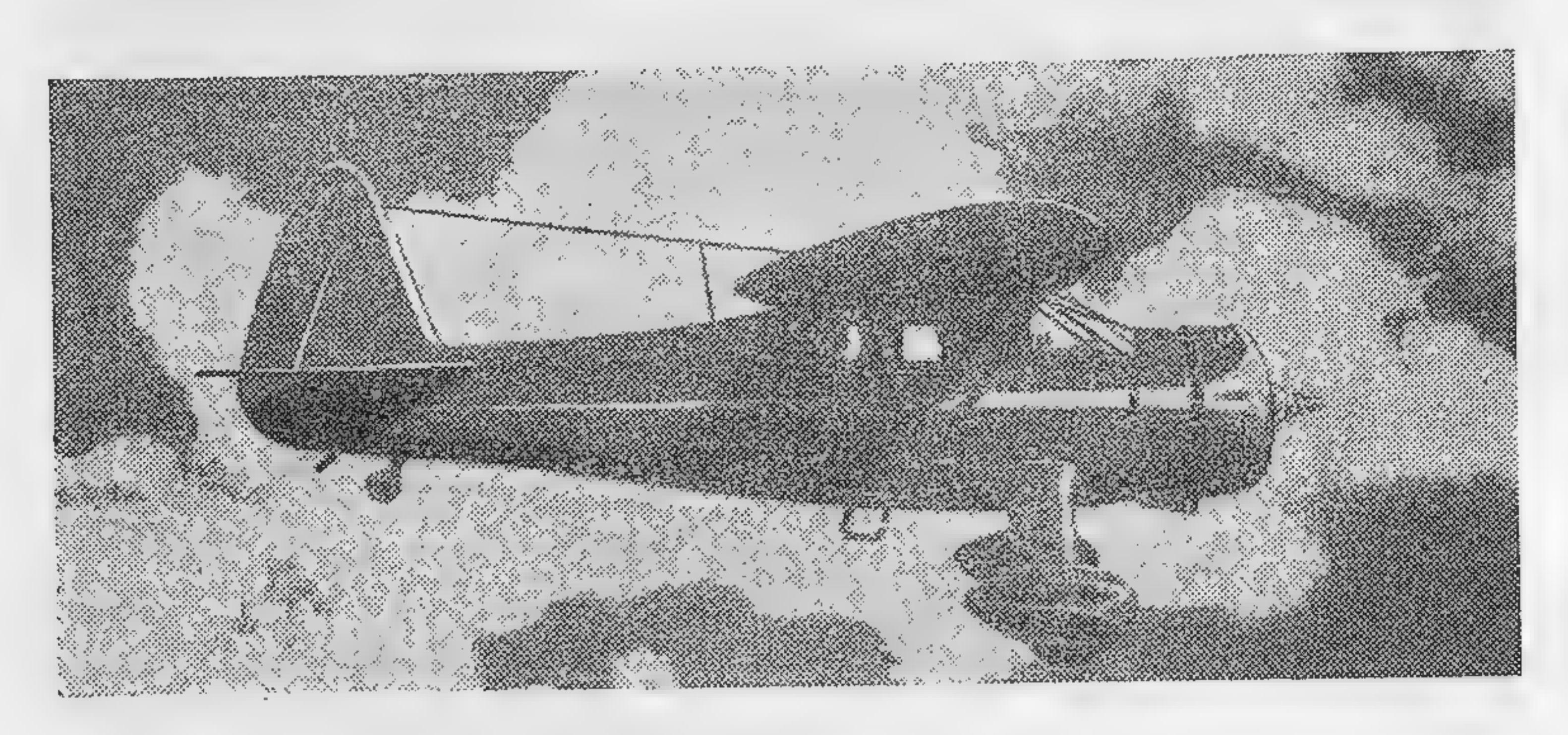


Рис. 3. Самолётная антенна.

Правильный выбор волн позволяет поддерживать связь с самолётом на любых, практически необходимых, расстояниях — до 2000 *км* и более.

Требования, предъявляемые к военной и гражданской авиации, слишком велики, чтобы она могла ограничиваться полётами лишь при ясной погоде и видимости наземных ориентиров. Полёты во всякое время года и суток и при любых ограничениях видимости земли, вплоть до полностью «слепого полёта», потребовали применения и развития средств вождения самолётов с помощью радио.

Исторически первым средством радиовождения, имеющим и теперь перспективы ещё долго служить авиации, являются так называемые «радиопеленгаторы». Они представляют собой специального устройства радиоприёмные

установки, которые позволяют не только принимать сигналы, но и определять направление прихода радиоволн.

Так как это происходит за весьма небольшими исключениями в плоскости кратчайшего расстояния между передающей радиостанцией и пеленгатором, то с помощью последнего можно определять «направление» от пеленгатора на самолёт.

В пеленгаторном помещении на рабочем пульте оператора устанавливаются, кроме радиоприёмника и специаль-

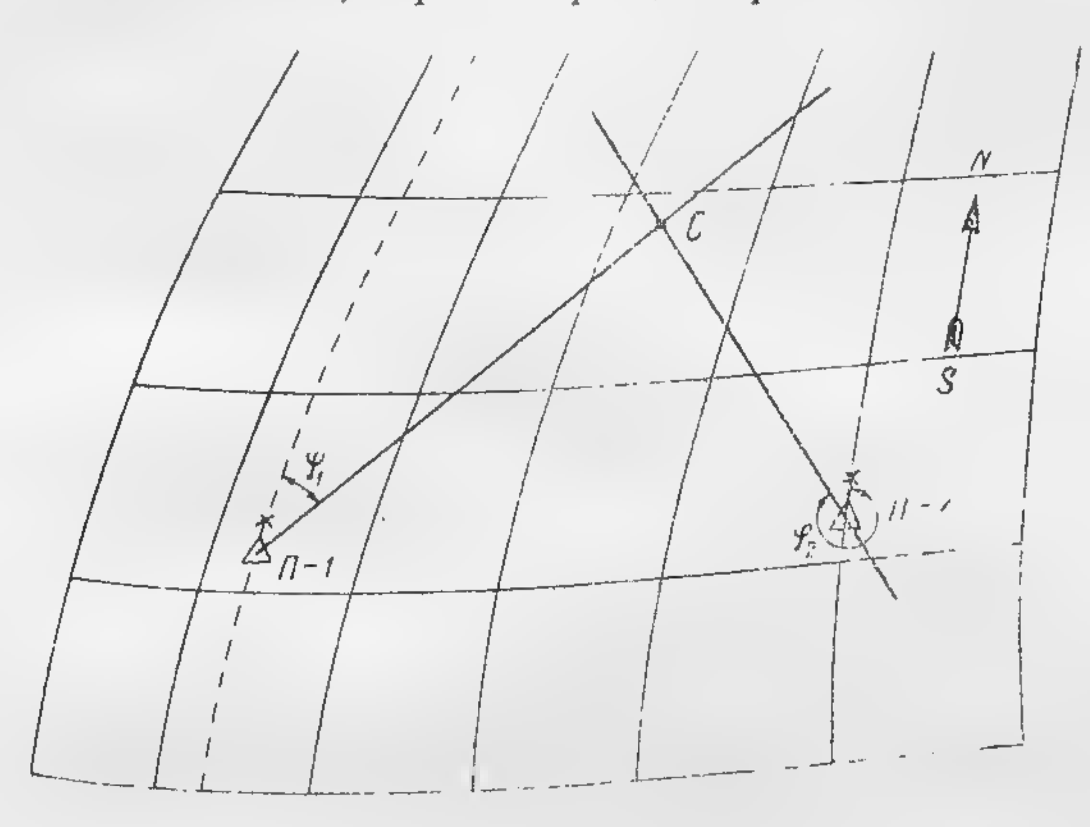


Рис. 4. Совместная работа двух пеленгаторов.

ного пеленгаторного оборудования, также ключ Морзе и кнопки для запуска и остановки передающей радиостанции, расположенной неподалёку. Это даёт радиооператору возможность не только «пеленговать» самолёты, но и вступать с ними в связь, сообщая им в ответ на их запросы «прямые» или «обратные пеленги», т. е. направления от пеленгатора на самолёт или от самолёта на пеленгатор, отсчитываемые от северного направления меридиана. Это позволяет пилоту вводить поправки в курс самолёта, летящего «от» или «на» пеленгатор.

Два пеленгатора, отстоящие на несколько сотен километров друг от друга, могут быть использованы для «пеленгации по засечкам». Пеленги, одновременно полученные на обоих пеленгаторах, позволяют определить положение самолёта, т. е. дать исчерпывающую ориентировку пилоту, находящемуся в условиях слепого полёта. Рису-

нок 4, изображающий карту, где показаны положения двух пеленгаторов «П-1», «П-2», самолёта «С» и углы пеленгов φ_1 и φ_2, поясняет сказанное.

Участие в этой операции третьего пеленгатора, в котором хотя и нет принципиальной необходимости, всё же полезно, так как оно повышает точность определения точки, в которой находится самолёт. Вся операция, начиная с получения запроса от пилота и кончая передачей на самолёт кодированной фразы, например «20 километров к северо-востоку от города N» занимает $1^1/_2 \div 2$ минуты.

Таким образом, чтобы получить поправку к курсу или узнать своё местонахождение, экипаж самолёта не нуждается в иной аппаратуре, кроме обычной приёмо-передающей установки, и может быть избавлен от обработки результатов пеленгации, получая окончательный её результат с земли. И то и другое представляет одно из главных преимуществ «наземной» радиопеленгации, т. е. пеленгации, осуществляемой с помощью пеленгаторов, находящихся на земле. Вторым её преимуществом, сохраняющим за ней актуальность на ряд предстоящих лет, служат ещё большие радиусы действия, удовлетворяющие предельным потребностям авиации в этом отношении.

Выбирая подходящие волны, можно пеленговать на практически любых расстояниях — до 2000 *км* и более. Это делает пеленгацию особенно ценной для вождения самолётов на длинных трассах над малообитаемыми местностями и большими водными пространствами, как например, на известных трансокеанских воздушных магистралях Канада — Ирландия и Сан-Франциско — Филиппины. В первом случае дальность беспосадочного полёта составляет 3200 *км,* а во втором —3850 *км* на участке Сан-Франциско — Гавайские о-ва.

Наземная пеленгация широко применяется и в военной авиации как для вывода возвращающихся самолётов на свой аэродром, так и для направления бомбардировщиков в район, где расположены объекты бомбардировки.

На рис. 5 изображён внешний вид наиболее распространённого в настоящее время пеленгатора типа Эдкок с четырьмя вертикальными приёмными проводами. Рис. 6 изображает так называемый «гониометр», состоящий в основном из трёх катушек. Две неподвижные соединены с системой приёмных проводов, а третья — вращающаяся —

насажена на ось, ручка которой находится в центре шкалы угловых отсчётов, расположенной на фасаде гониометра. Поворот этой ручки изменяет силу сигналов в головном телефоне, включённом на выходе приёмника, соединённого с гониометром. Отсчёт пеленга по шкале производится в момент резкого минимума слышимости сигнала.

Кроме пеленгаторов с системой определения пеленга по

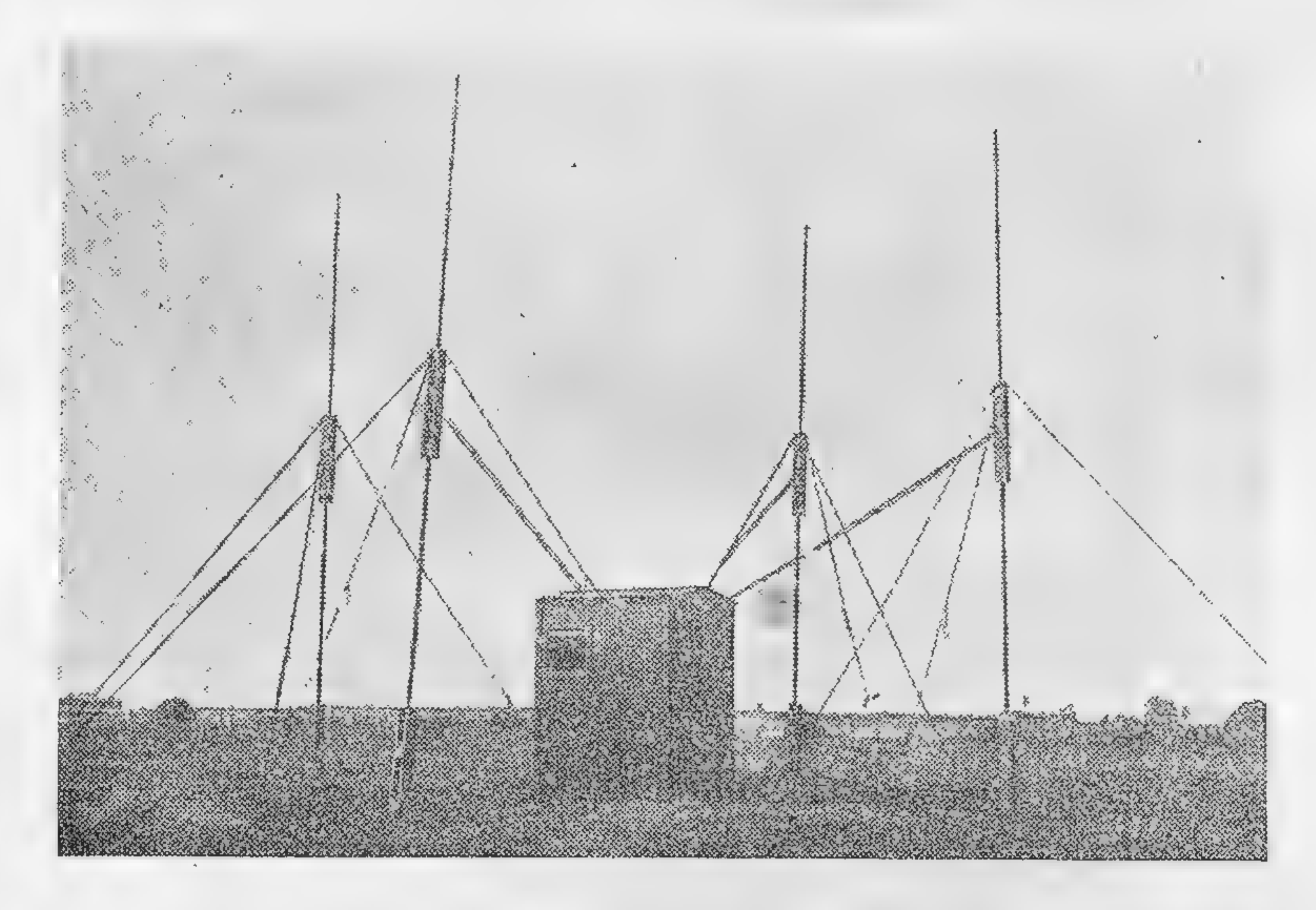


Рис. 5. Пеленгатор типа Эдкок.

методу «минимум слышимости», в последние годы получают постепенное распространение пеленгаторы, снабжённые электроннолучевой трубкой, нашедшей столь широкое применение в телевидении. В этих пеленгаторах угловая шкала отсчёта пеленгов наносится на полупрозрачный экран трубки, имеющий форму слегка выпуклого диска. При настройке приёмника на волну пеленгуемого самолёта на экране появляется светящаяся прямая линия, проходящая через центр экрана и указывающая на деление шкалы, соответствующее пеленгу.

В каждый данный момент всякий пеленгатор может обслуживать только один самолёт. Пеленгируя поочерёдно, можно вести одновременно 5—6 самолётов, при большом

навыке—до 10 самолётов. Этот недостаток пеленгаторов как радионавигационного средства заставляет в больших аэропортах увеличивать их число до двух и даже трёх.

Такое эксплоатационно неудобное решение вопроса про-

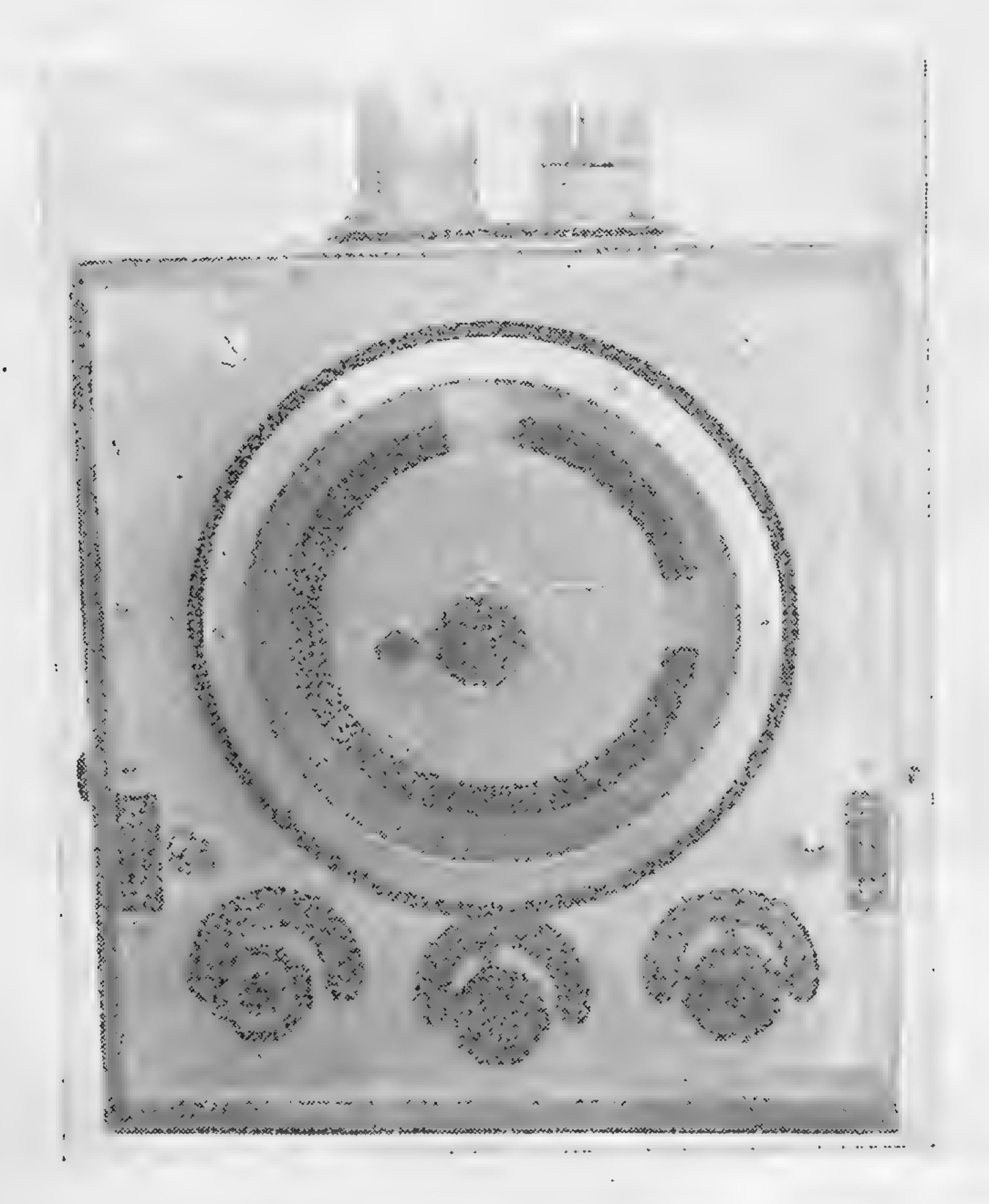


Рис. 6. Гониометр пеленгатора.

пускной способности заставило искать для трасс с большим движением иную систему вождения. В частности, американцы выбрали в качестве основного средства радиовождения на своих внутренних трассах систему «зональных радиомаяков».

Современный маяк этого типа имеет четыре вертикаль-

ные стальные мачты-антенны высотой около 40 *м*, расположенные по углам квадрата, сторона которого равна 183 *м*, и одну такую же мачту в центре. Антенны соединены горизонтальными проводами, проложенными под землёй, с передающим устройством, смонтированным в здании, находящемся в центре всей установки.

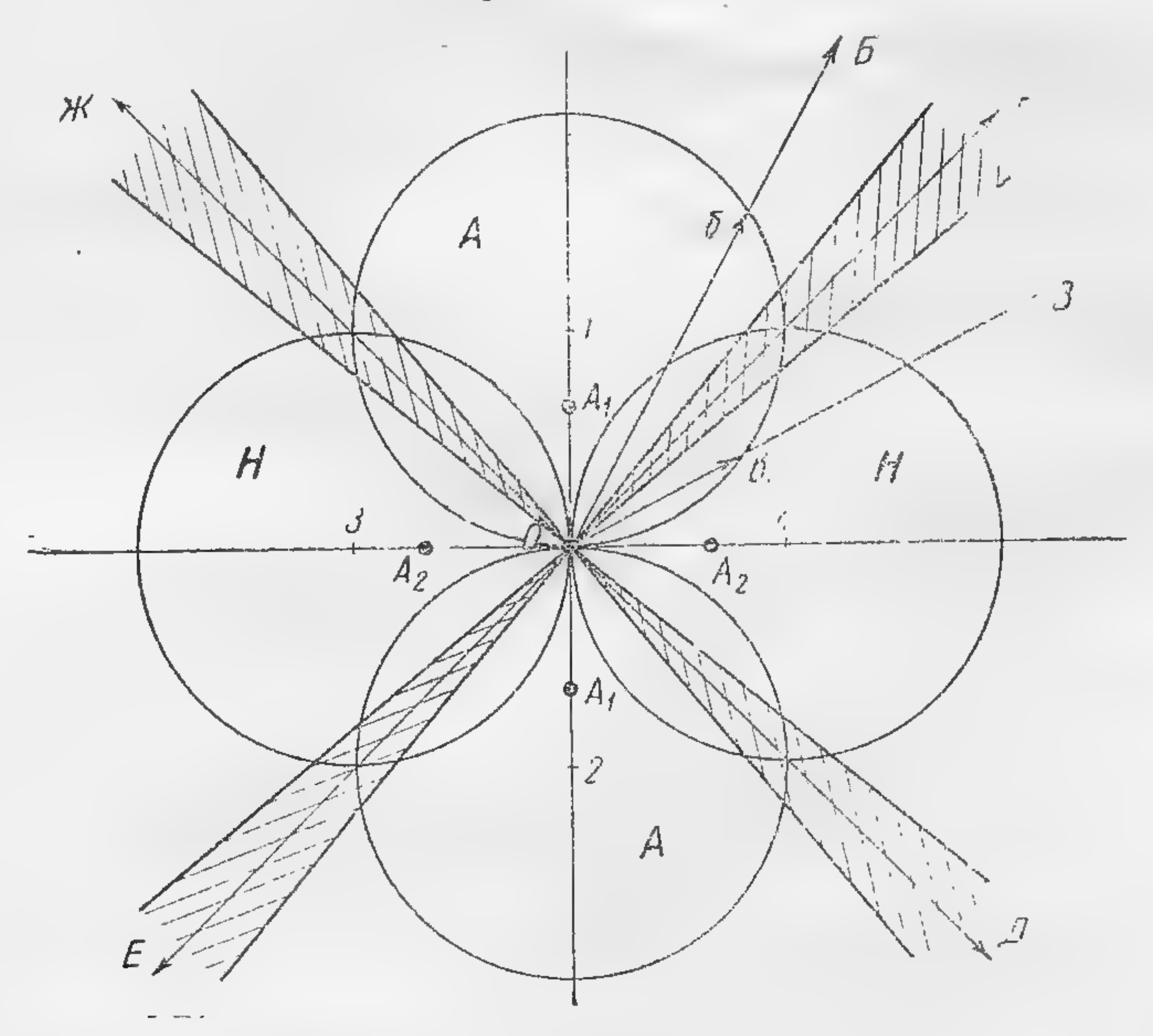


Рис. 7. Зоны радиомаяка.

Пары антенн A_1 и A_2, расположенных на противоположных концах одной и той же диагонали, как показано в плане на рис. 7, образуют две системы, включаемые на передачу поочерёдно.

Интенсивность излучения каждой пары по различным направлениям неодинакова. Окружности *1* и *2* изображают в плане распределение излучения пары антенн A_1, а окружности *3* и *4* — распределение излучения для антенн A_2. Это значит, что если интенсивность излучения пары A_1 в направлении *ОБ* может быть в некотором масштабе изображена отрезком *Об*, то в направлении *ОВ* она изображается отрезком *Ов*.

Нетрудно заключить, что в направлениях *ОГ*, *ОД*, *ОЕ*

и *ОЖ* слышимость сигналов, передаваемых обеими парами антенн, должна быть одинакова.

Передача сигналов или, как говорят, «манипуляция» происходит с помощью автоматического устройства, причём обе пары антенн, как было упомянуто, работают поочерёдно. Через пару A_1 передаётся буква «А», состоящая из точки и тире, а через пару A_2 — буква «Н», т. е. тире и точка. Оба знака расположены в передаче так, что замыкания в одной паре антенн соответствуют интервалам в другой и наоборот (рис. 8). Получается передача так

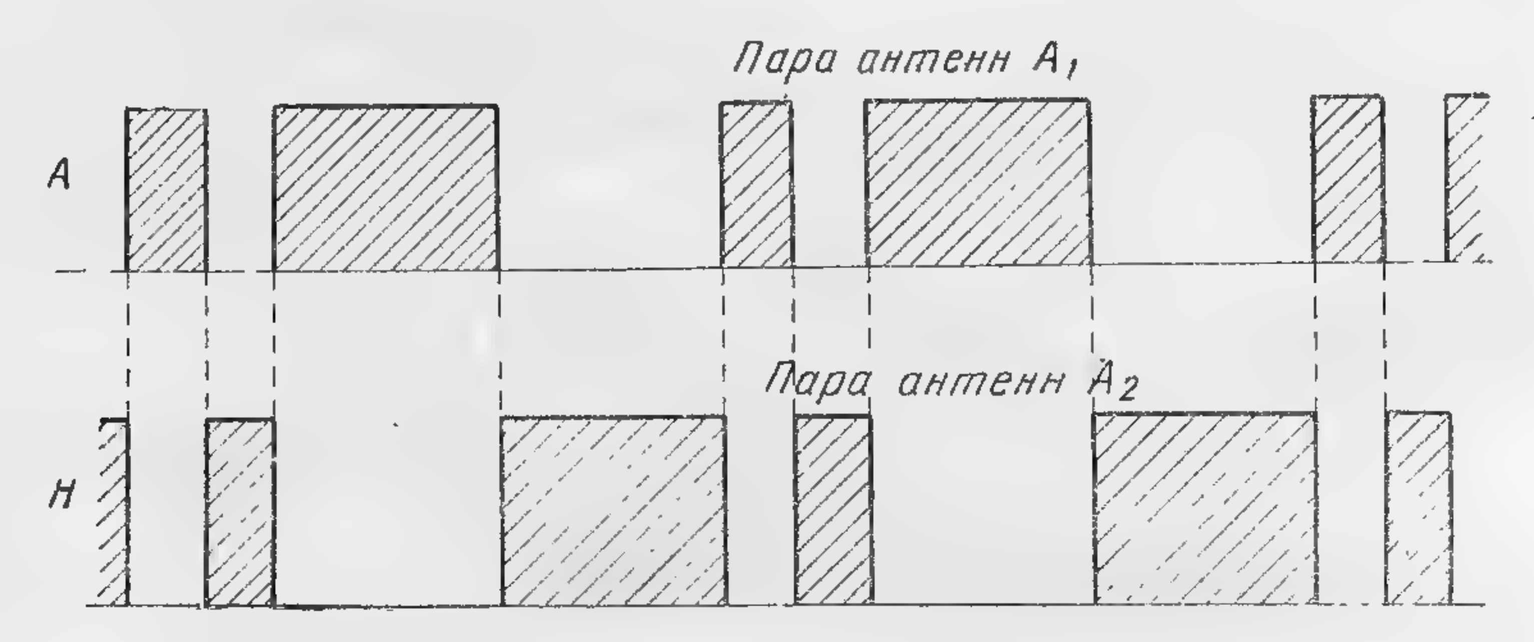


Рис. 8. Переплетающиеся сигналы радиомаяка.

называемых «переплетающихся сигналов», чередуемых через определённые интервалы с передачей позывных маяка.

Принимая сигналы маяка на слух, пилот будет слышать сплошной сигнал, если самолёт находится на любом из четырёх направлений *ОГ, ОД, ОЕ* или *ОЖ*. В секторах же *ГОЖ* и *ДОЕ* будет выделяться сигнал «А», а в секторах *ГОД* и *ЕОЖ* — сигнал «Н».

Регулируя ток в парах антенн, можно установить разные углы между четырьмя равносигнальными направлениями, расположив эти направления вдоль воздушных трасс, сходящихся в аэропорте, около которого стоит маяк.

Ввиду того, что ухо не различает сигналы, если они отличаются по громкости незначительно, пилот, контролируя своё положение описанным методом, может находиться неточно на прямой *ГЕ* или *ДЖ*, а в пределах заштрихованных секторов, называемых «зоной» радиомаяка и образующих угол около 3 градусов.

Маяки работают в диапазоне средних волн (750 ÷ 1500 *м*) и имеют мощность 400 *вт* при гарантированном радиусе действия не менее 160 *км*. Два маяка, установленные в соседних аэропортах, покрывают своими зонами участок до 350 *км*. Для вождения на более коротких участках применяются маяки меньшей мощности.

Большая пропускная способность радиомаяков, ограниченная только возможностью столкновения самолётов в воздухе, представляет существенное преимущество этой системы вождения.

Описанные маяки имеют также дополнительное устройство, позволяющее одновременно с передачей зональных сигналов «А» и «Н» использовать их в качестве радиотелефонных станций для периодической информации пилотов каждые полчаса о погоде на трассе, о возможности посадки на том или ином аэродроме и т. п. Радиотелефонная передача и зональные сигналы «А» и «Н», наложенные друг на друга, разделяются в самолётном приёмнике с помощью электрических фильтров. На выход приёмника включаются два головных телефона: через один пилот слушает сигналы зоны, а второй служит его помощнику (второму пилоту) для приёма периодической информации.

Радиомаяки, работающие в средневолновом диапазоне, имеют некоторые существенные недостатки. Приём передачи радиомаяков подвержен заметному воздействию атмосферных помех и помех других маяков. Кроме того, в пересечённых местностях наблюдаются искажения зон в виде их искривления и расщепления.

Эти недостатки заставили американцев разработать пробные модели зональных маяков, работающих на ультракоротких волнах (около 3 *м*). Опытная эксплоатация таких маяков показала, что они свободны от перечисленных недостатков и обходятся, примерно, в пять раз дешевле, чем средневолновые маяки. Последнее объясняется чрезвычайной компактностью, свойственной ультракоротковолновым установкам вообще. Весь маяк, включая антенны, помещается в двухэтажном помещении высотой 7 ÷ 8 *м*.

Иные системы радиомаяков имеют ограниченное применение и здесь нет необходимости на них останавливаться.

Применение «зональных маяков», понятно, не исключает применения пеленгаторной аппаратуры. Простота

конструкции и малые размеры рамочных пеленгаторов послужили причиной их широкого распространения в коммерческом и военном флоте. Те же причины вызвали попытку переноса подобного пеленгатора и на самолёт. Самолётный пеленгатор оправдал возлагавшиеся на него надежды. Однако, необходимость специальных манипуля-

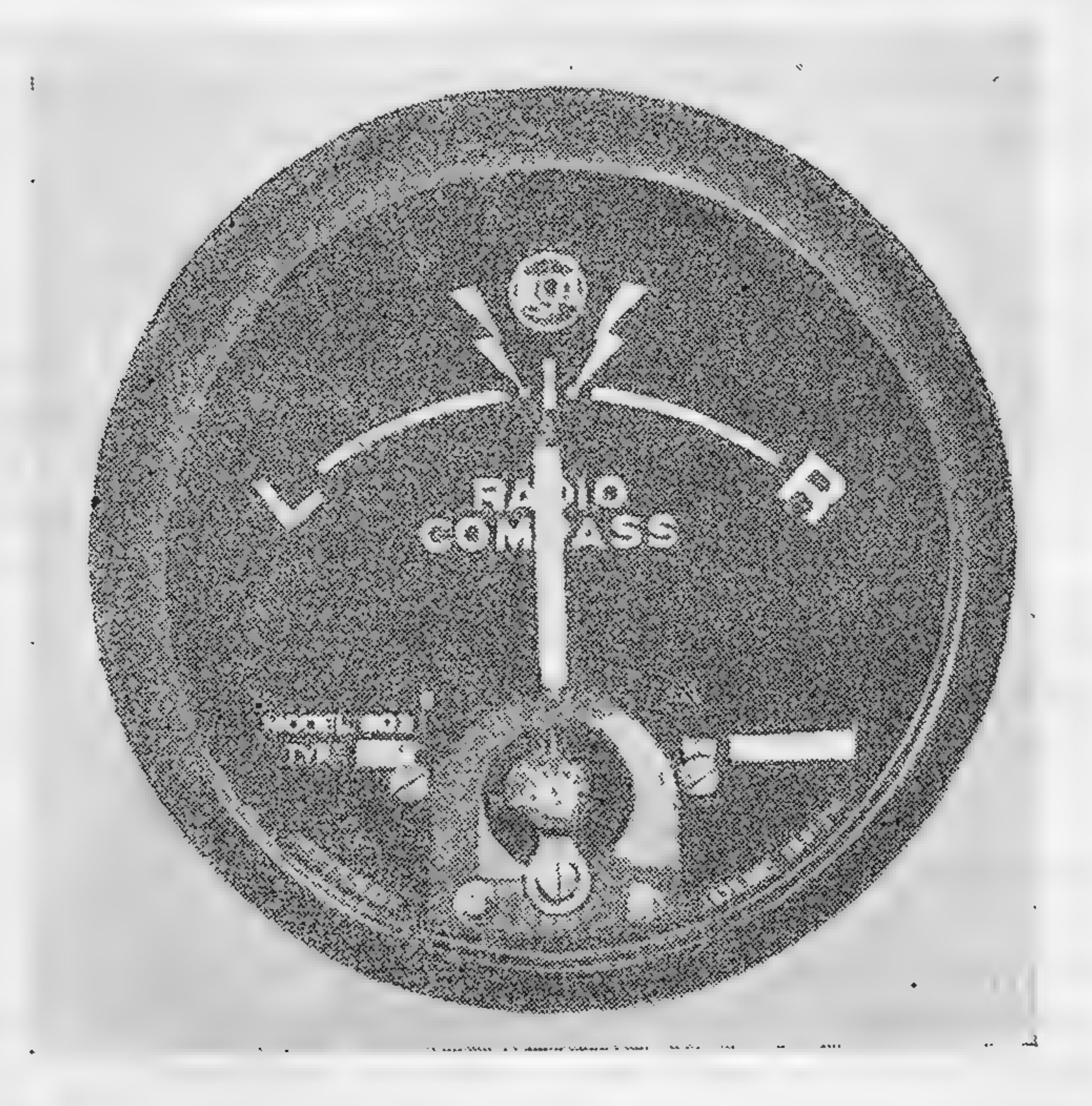


Рис. 9. Шкала индикатора радиополукомпаса.

ций для получения пеленга, для которых пилот не имеет времени, ограничивала применение самолётных пеленгаторов случаями, когда в числе экипажа имелся штурман или квалифицированный радиооператор.

Попытки усовершенствования самолётного пеленгатора, предпринятые с целью замены слухового определения момента пеленгации непосредственным визуальным отсчётом, привели к появлению совершенно нового по существу радионавигационного прибора: «радиополукомпаса» (РПК).

Его основной особенностью является применение двойного непрерывно действующего переключателя, осуществляемого или в виде контактного устройства, приводимого во вращение электромотором или в виде «электронного коммутатора», т. е. специальной схемы с электронными лампами, выполняющей аналогичные функции. Это усложнение позволило получить прибор со стрелочным индикатором, показанным на рис. 9.

Приёмная рамка радиополукомпаса, имеющая весьма небольшие размеры, заключённая для уменьшения аэро-

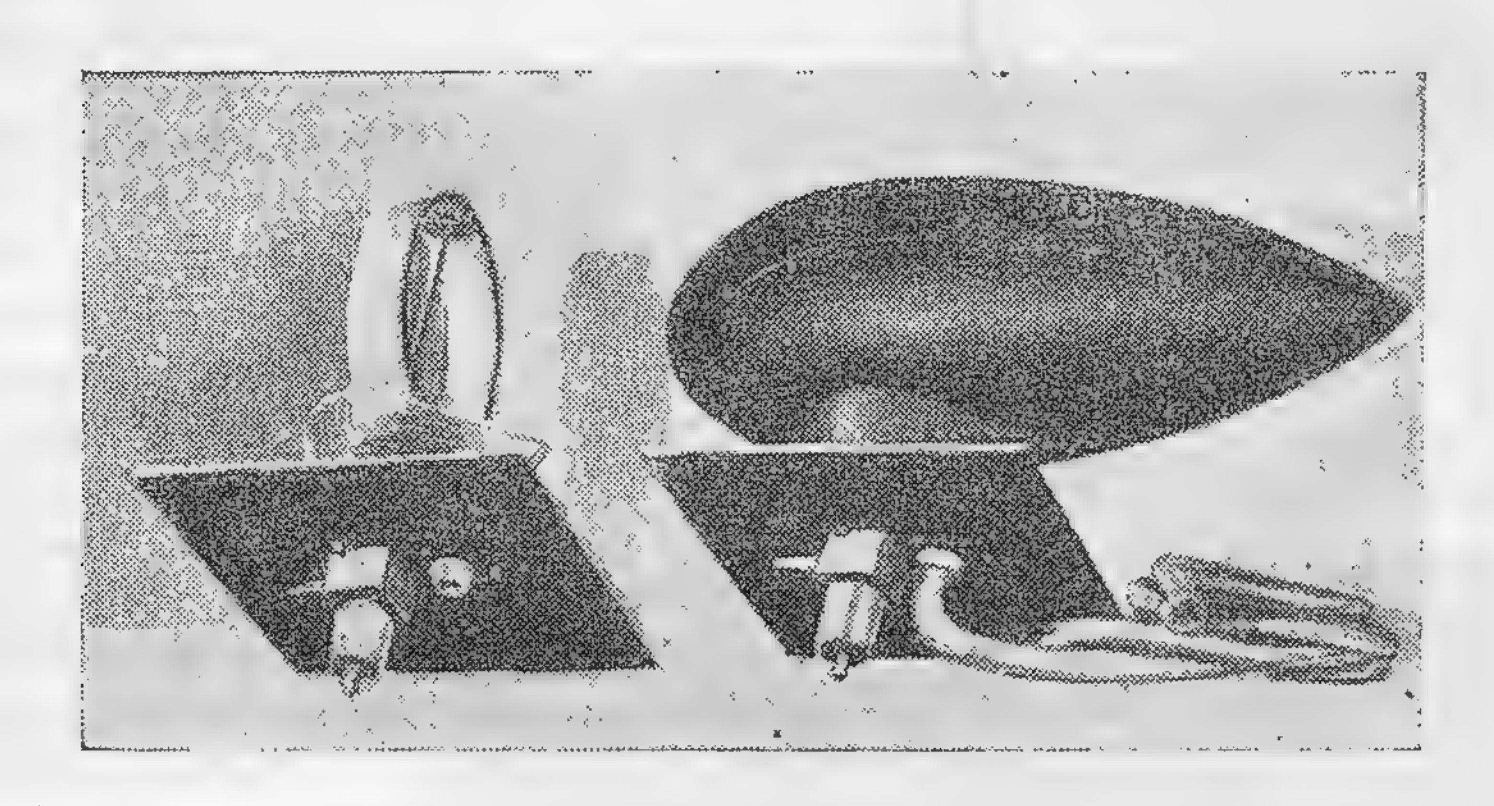


Рис. 10. Рамка радиополукомпаса и её обтекатель.

динамического сопротивления и защиты от атмосферного воздействия в обтекаемый кожух (рис. 10), устанавливается так, чтобы её плоскость была перпендикулярна оси самолёта. Если ось самолёта направлена на передающую станцию, то стрелка индикатора находится против середины шкалы. При отклонении самолёта вправо или влево стрелка индикатора уходит в ту или иную сторону от середины шкалы, показывая пилоту, куда он уклонился от направления на радиостанцию.

РПК оказался очень удобным и практичным прибором и получил чрезвычайно широкое распространение. Контроль своего положения по индикатору значительно меньше утомляет и отвлекает пилота, чем вслушивание в сигналы радиомаяка. Однако, полёт по прямой с помощью РПК не так прост, как это может казаться на первый взгляд,

вследствие необходимости поправок курса при сносе самолёта боковым ветром.

Полёт по прямой между двумя радиостанциями существенно облегчается одновременным применением двух радиополукомпасов, приёмники которых настраиваются один на станцию, находящуюся впереди, а другой — на станцию, находящуюся позади.

Пилот или штурман обычно могут поворачивать рамку РПК с пульта управления и отсчитывать угол её поворота по шкале, расположенной на пульте. Это облегчает использование РПК для решения более сложных навигационных задач, а также позволяет пользоваться им как обыкновенным радиопеленгатором.

Для вождения самолётов с помощью РПК надо иметь на земле достаточное количество «радиоориентиров», т. е. радиостанций средневолнового диапазона, работающих непрерывно или включаемых в любой момент по требованию пилотов. Для этой цели используются специально устанавливаемые около аэродромов «приводные» радиостанции; их мощности составляют обычно несколько сотен ватт, но иногда доходят до $1^1/_2$—2 *квт*. Приводные радиостанции снабжаются автоматической, непрерывно действующей, манипуляцией, причём каждый цикл передачи включает позывные радиостанции и длинные тире, облегчающие работу индикаторов РПК.

По постановлению международных авиационных конференций на территории Западной Европы и стран, расположенных по берегам Средиземного моря, запроектирована и в большей своей части организована сеть таких радиостанций, называемых иногда «радиомаяками ненаправленного действия». Они скомбинированы по три, работающие поочерёдно по одной минуте на общей длине волны. Настроив приёмник РПК на волну ближайшей тройки таких маяков, штурман может засечь своё положение относительно трёх точек.

РПК позволяет вести самолёт также с помощью радиовещательных станций. Это представляет известные удобства, так как эти станции весьма устойчиво держат длину волны, что облегчает настройку и их распознавание. Большая мощность вещательных станций представляет их преимущество только в дневное время. В тёмные и сумеречные часы суток радиополукомпасы, как и иные радио-

пеленгаторные установки, имеющие приёмные антенны в виде рамок, работают неустойчиво и с большими ошибками, если расстояние до радиостанции превышает 70÷80 *км*. «Ночной эффект» является существенным дефектом этого типа аппаратуры.

Дальнейшие усовершенствования в описываемой области привели к появлению автоматического самолётного пеленгатора или, по принятой у нас терминологии, «радиокомпаса». В этом случае для получения пеленга достаточно настроить приёмник на волну радиостанции; пеленг непосредственно указывается стрелкой на угловой шкале индикатора.

В распространённых сейчас приборах этого рода рамка приводится во вращение электромотором, который управляется с помощью напряжения, получаемого с выхода приёмника. Вращение рамки прекращается, когда это напряжение делается равным нулю, т. е. когда плоскость рамки устанавливается перпендикулярно направлению на передающую радиостанцию. Ось рамки связана со стрелочным индикатором угла поворота, находящимся на приборной доске пилота.

Наземный радиопеленгатор, зональный радиомаяк и самолётный радиополукомпас или радиокомпас применяются в виде основных или резервных в различных комбинациях друг с другом, зависящих от характера трасс, графика движения и т. п.

Рассмотренные радиотехнические средства для вождения самолётов на трассе применяются на более или менее значительном удалении от аэродрома. Движение самолёта вблизи аэропорта в пределах так называемой «аэропортовой зоны», под которой понимается воздушное пространство в радиусе 30÷40 *км* вокруг аэродрома, требует решения аналогичных задач.

Днём, при ясной погоде и малом движении, пилоты не нуждаются в особом руководстве с земли, кроме выкладывания на аэродроме обычного знака «Т», чтобы вывести самолёт на посадку, опуститься на посадочную дорожку, произвести разгрузку и погрузку, «вырулить» на старт, взлететь и выйти на трассу для продолжения полёта.

Вопрос усложняется, если самолёты прибывают и уходят при недостаточной видимости или в таком количестве, что выход их на посадку по усмотрению самих пилотов

мог бы грозить столкновением в воздухе или на земле. Опасность столкновений и осложнение процесса посадки заставляют подчинять движение в аэропортовой зоне больших аэропортов особому «аэропортовому диспетчеру», изъяв эту задачу из ведения диспетчеров, управляющих движением на линиях.

Процесс руководства движением самолётов в аэропортовой зоне состоит в следующем. Пилот, находящийся по его расчёту в 10÷15 минутах полёта до границы аэропортовой зоны, извещает об этом диспетчера аэропорта. Диспетчер указывает пилоту место в «зоне ожидания» и номер его очереди на посадку. По мере посадки самолётов, прибывших ранее, пилот переводит свой самолёт из одного «этажа» зоны ожидания в другой, расположенный в каждом случае на 300 *м* ниже. Дождавшись своей очереди, пилот делает «заход на посадку», совершает самую посадку, производит по указанию того же диспетчера разгрузку и погрузку, заправляет самолёт горючим и, получив инструкции по дальнейшему полёту, по команде диспетчера «выруливает» на старт и совершает взлёт. Убедившись, что всё на самолёте, особенно моторы, в порядке, пилот «ложится на курс» и, пересекая вновь границу аэропортовой зоны, сообщает об этом диспетчеру аэропорта, кончая связь с ним.

Это краткое описание операций, проделываемых пилотом в границах аэропортовой зоны, даёт представление о тёх задачах, которые должны выполнять в данном случае средства радиосвязи и радионавигации.

Между диспетчером аэропорта и пилотом должна поддерживаться непрерывная связь, достаточно гибкая, без каких-либо помех и задержек и допускающая вызов пилотом диспетчера в любое время. Чтобы удовлетворить этим условиям, диспетчер аэропорта снабжается радиотелефонной передающей станцией малой мощности, находящейся исключительно в его пользовании. Эта радиостанция может работать на одной, общей для всех аэропортов, волне средневолнового диапазона, в котором удаётся избежать взаимных помех между станциями аэропортов. В последнее время для уменьшения взаимных помех начали применять ультракороткие волны, которые вообще распространяются немного далее прямой видимости.

Для приёма радиотелефонных сообщений пилотов дис-

петчер располагает также несколькими приёмниками, точно настроенными на все те волны, на которых может последовать вызов с воздуха. Громкоговорители, соединённые с этими приёмниками, располагаются непосредственно перед диспетчером. Услышав через один из них название своего аэропорта, диспетчер вступает в переговоры с вызывающим его пилотом или даёт ему команду подождать, если сам он занят разговором с пилотом другого самолёта.

Применение на самолётах жёстких антенн, не препятствующих посадке, позволяет поддерживать радиосвязь и во время нахождения самолёта на земле.

Границы аэропортовой зоны определяются с помощью так называемых «маркерных радиомаяков», работающих на ультракороткой волне (4 *м*). Эти маяки называются «веерными», так как их излучение направлено вверх и имеет форму веера или стенки, размеры которой в плане составляют, примерно, 5×20 *км* и которая расположена поперёк трассы полёта. Пролёт над маркерным маяком сопровождается ритмическими вспыхиваниями сигнальной лампочки, включённой на выход самолётного приёмника и расположенной на приборной доске пилота.

Находясь в зоне ожидания, пилот летает вперёд и назад по определённому направлению на заданной высоте. Это направление или совпадает с одной из зон радиомаяка или контролируется с помощью радиокомпаса или радиополукомпаса по приводной радиостанции. Более сложным, но возможным методом контроля в этом случае, является применение наземного пеленгатора. Контроль высоты полёта производится с помощью альтиметра (высотомера) той или иной системы.

Получив разрешение на посадку, пилот должен выйти на вполне определённую точку, положение которой точно указано на карте аэропорта. Так как предполагается, что эти операции, как и все другие, выполняются без видимости земли, то такой точкой может служить зональный радиомаяк или приводная радиостанция. Пролёт над маяком обнаруживается по спаданию слышимости сигнала. Пролёт над приводной радиостанцией сопровождается перебрасыванием стрелки индикатора радиополукомпаса с одной половины шкалы на другую, причём самолёт должен проходить не точно над радиостанцией.

Наиболее точная фиксация пролёта над тем или другим ориентиром достигается с помощью маркерного маяка «конусного» типа. Его излучение направлено вверх в виде узкого пучка-конуса, который пересекается самолётом за 20÷30 секунд. Эти маяки работают на той же ультракороткой волне, что и веерные маяки, вызывая также ритмические вспыхивания лампочки на приборной доске пилота, но отличающиеся своей длительностью и частотой от вспышек при прохождении над веерными маяками.

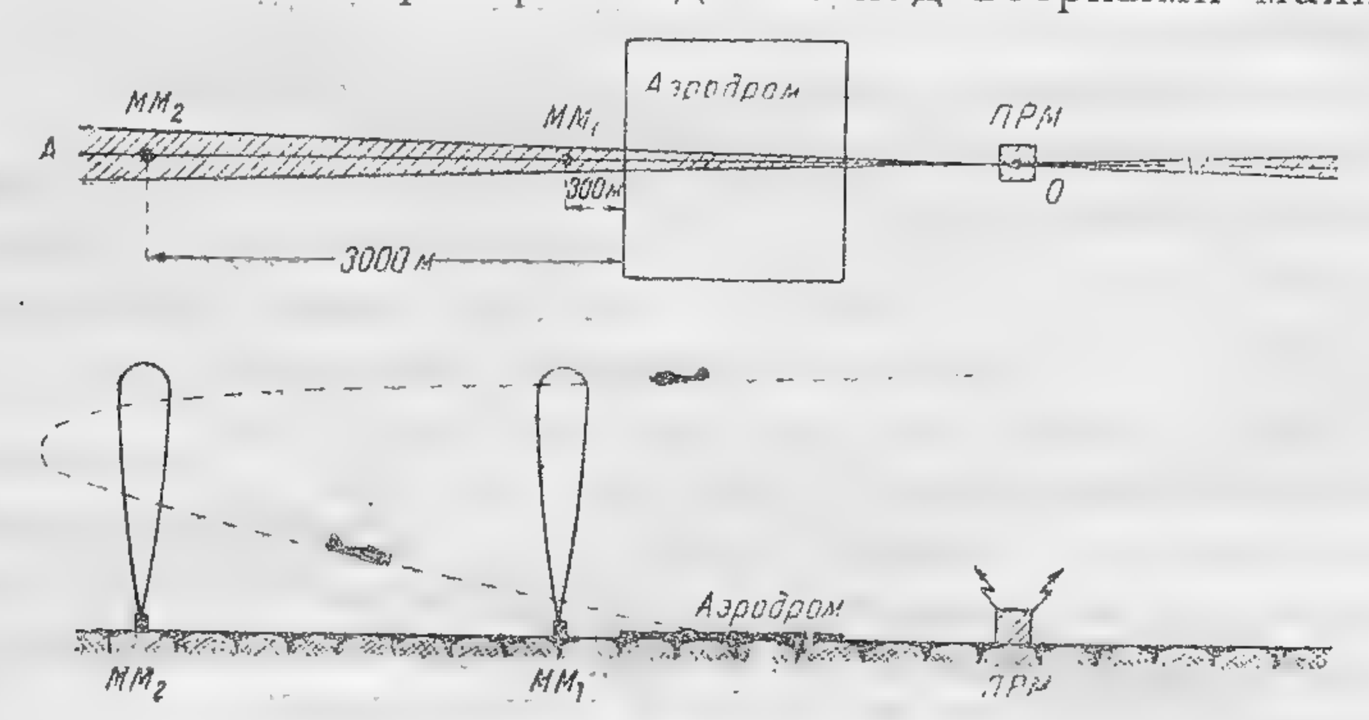


Рис. 11. Расположение посадочных радиоустановок.

Выйдя на точку-ориентир, пилот делает заход на посадку с помощью специальных посадочных радиоустановок, которыми снабжаются все более или менее крупные аэропорты. Существует несколько систем таких радиоустановок. Наибольшее распространение получили устройства, хотя и отличающиеся теми или иными особенностями, но состоящие в основном из следующих трёх элементов, устанавливаемых отдельно.

На продолжении дорожки, выбранной для посадки в условиях плохой видимости, за границей аэродрома, устанавливается «посадочный радиомаяк», обозначенный на рис. 11 буквами ПРМ. Он представляет собой радиомаяк зонального типа небольшой мощности, работающий по большей части на одной из волн ультракоротковолнового диапазона. Этот маяк имеет лишь две зоны, из которых одна — *OA* — располагается вдоль выбранной посадочной дорожки. Две точки на этой зоне по другую сторону аэродрома отмечаются установкой маркерных маяков конус-

ного типа. Эти маяки отличаются длительностью и частотой подачи сигналов, которые вызывают соответствующие вспыхивания сигнальной лампочки перед пилотом.

Излучение посадочного маяка воздействует через приёмник на стрелочный индикатор, находящийся на приборной доске самолёта. Когда самолёт летит в зоне маяка,

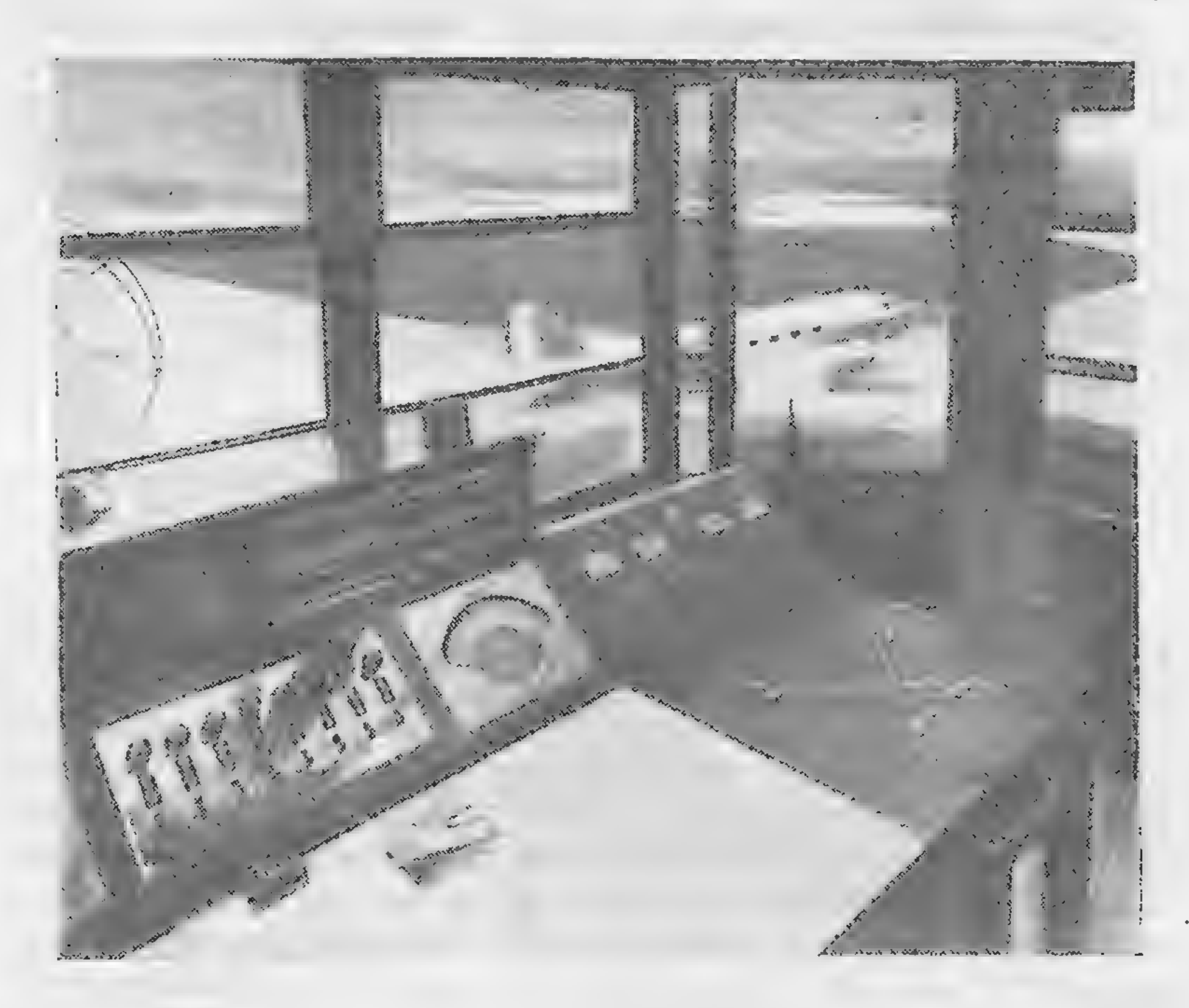


Рис. 12. Контрольная вышка диспетчера аэропорта.

стрелка стоит против середины шкалы. Уход стрелки с этого положения указывает на соответствующее отклонение самолёта от посадочного курса.

Как посадочный маяк, так и маркерные маяки не требуют непосредственного обслуживания, кроме периодического контрольного осмотра. Они включаются на работу из контрольной вышки диспетчера аэропорта (рис. 12) с помощью устройств для дистанционного управления по проводам.

Пройдя над основным ориентиром аэропорта, пилот делает соответствующий разворот и, пройдя над посадочным маяком, летит вдоль зоны *ОА* в направлении обратном посадочному курсу, т. е. от *ПРМ* над маркерными маяками *ММ1* и *ММ2*, удаляясь от них в течение нескольких минут полёта (рис. 11).

Сделав затем разворот на 180°, пилот ложится на посадочный курс, идя по зоне посадочного маяка, т. е. от *А* к *О*, проходя при этом над маркерными маяками на заранее заданных высотах, которые определяются как типом самолёта, так и местными условиями и расстояниями.

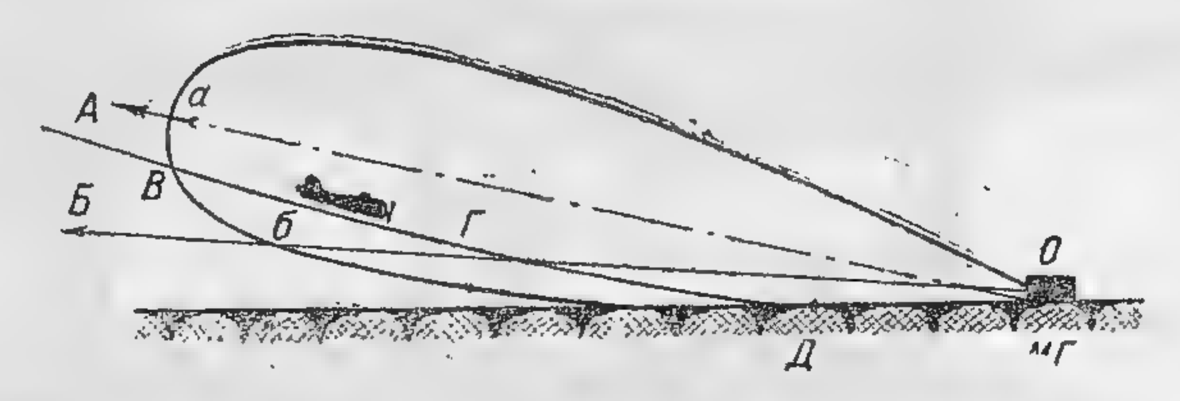


Рис. 13. Глиссада.

Пройдя над внутренним маркерным маяком *ММ1*, пилот начинает планирование и совершает посадку.

Точное определение высоты во время посадки при плохой видимости земли является одной из наиболее трудно решимых проблем. Во время посадки пилот должен знать расстояние до земли с точностью до десятых долей метра. Высотомеры барометрического типа не дают необходимой точности и пришлось искать решения задачи радиотехническими методами. Это привело к реализации ряда интересных идей, ценность которых в практических условиях должна определить опытная эксплоатация в течение ближайших лет.

Усилия исследователей и конструкторов были направлены на получение так называемой «глиссады». Под этим названием понимается постепенно снижающаяся кривая, следуя которой, пилот мог бы совершить точную и плавную посадку, не видя земли. С этой целью применяется особый «глиссадный» маяк, дающий распределение интенсивности излучения в вертикальной плоскости, показанное на рис. 13. Интенсивность излучения в направлении *ОА* — наибольшая и изображается в некотором мас-

штабе отрезком *Оа*. Интенсивность в направлении *ОБ* меньше и изображается отрезком *Об*.

Если, снижаясь, самолёт остаётся всё время в электромагнитном поле одной и той же интенсивности, то он будет следовать некоторой плавной кривой *ВГД*, которая расположена так, что возрастание интенсивности поля благодаря приближению самолёта к маяку глиссады *МГ* компенсируется ослаблением поля, обусловленным удалением от линии *ОА* вниз. Полученная кривая имеет достаточно плавное очертание, чтобы служить глиссадой.

Постоянство интенсивности электромагнитного поля маяка должно сопровождаться постоянством напряжения на выходе приёмника. Последнее контролируется специальным стрелочным прибором, который конструктивно объединяется с упомянутым ранее прибором, служащим для контроля полёта по зоне посадочного маяка.

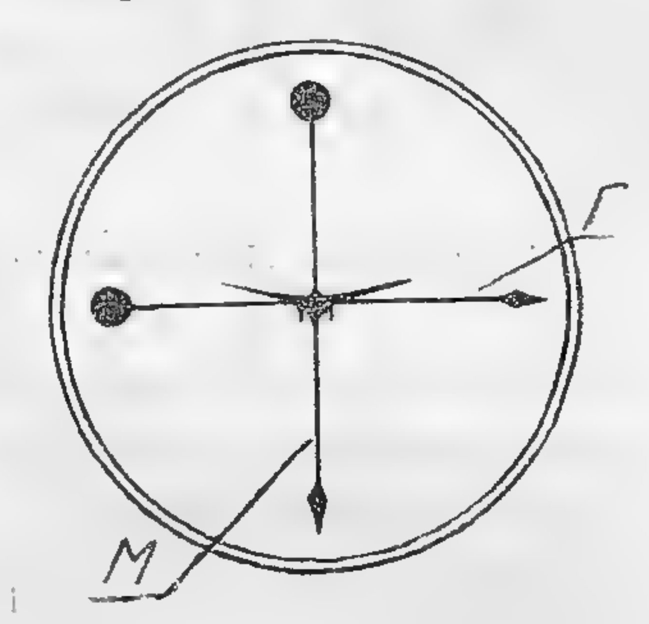


Рис. 14. Шкала посадочного индикатора.

Сдвоенный прибор (рис. 14) имеет две стрелки: стрелку *М*, указывающую положение самолёта относительно зоны маяка, и стрелку *Г*, показывающую положение самолёта относительно глиссады. В центре шкалы находится изображение самолёта. Расположение этого изображения относительно точки пересечения обеих стрелок соответствует положению самолёта относительно его правильного положения на траектории снижения. На рис. 15 показаны четыре примера: самолёт находится справа от посадочного курса и ниже глиссады (*1*), самолёт на курсе, но выше глиссады (*2*), самолёт левее курса и ниже глиссады (*3*) и самолёт левее курса, но на правильном расстоянии от земли (*4*).

В основу другого метода получения глиссады положен принцип равносигнальной зоны, применяемый подобно тому, как это делается в радиомаяках. Два излучателя в виде рупоров, работающие на волне сантиметрового диапазона (40÷50 *см*), дают два узких пучка излучения, причём ось одного пучка несколько выше оси другого (рис. 16).

Очевидно, что при одинаковой мощности излучения интенсивность излучения обоих рупоров на прямой *ОА* будет одинакова. Приёмное устройство на самолёте, соединённое с таким же индикатором глиссады, как и в предыдущем случае, устроено так, что стрелка *Г* (рис. 14) занимает горизонтальное положение, если оба поля излучения имеют одинаковую интенсивность около самолёта, т. е. если самолёт находится на глиссаде *ОА*. Этот

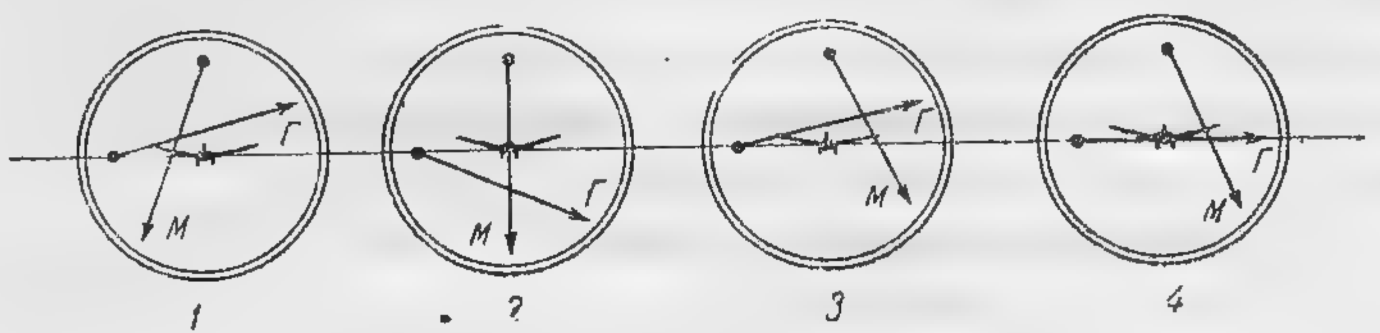


Рис. 15. Примеры показаний посадочного индикатора.

метод получения глиссады имеет некоторое преимущество перед первым в отношении устойчивости её положения над поверхностью земли.

Проблема точной глиссады, позволяющей совершить посадку до самого конца, не видя земли, быть может и

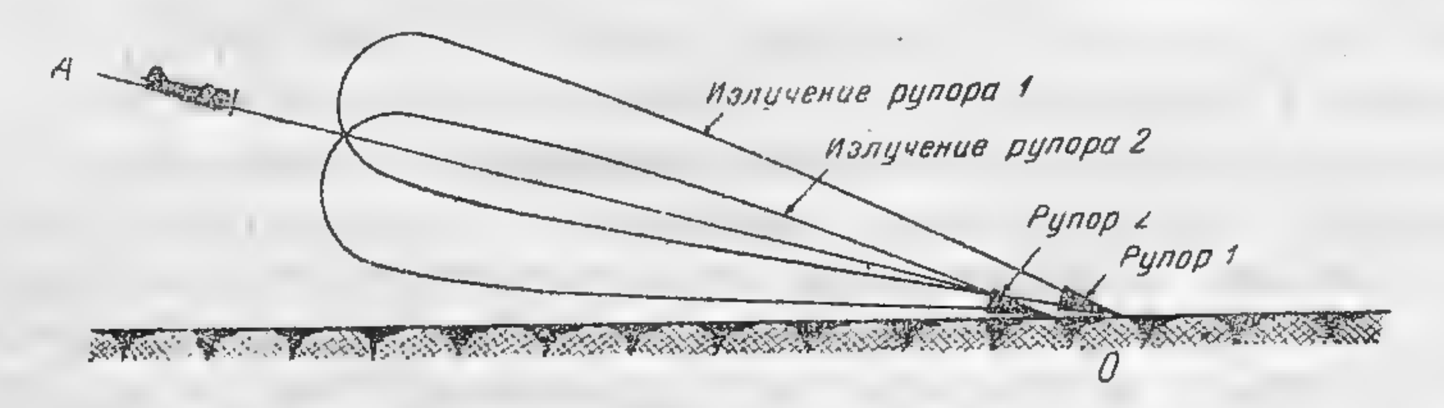


Рис. 16. Глиссада равносигнального типа.

окажется разрешённой новыми системами получения глиссады, однако, до сих пор нет решения, которое получило бы всеобщее признание.

Положение облегчается часто тем обстоятельством, что в большинстве случаев посадки при ограниченной видимости пилот в последние моменты посадки может различить поверхность земли или специальные световые сигналы, облегчающие его ориентировку.

Проблема определения высоты самолёта над землёй вообще имеет исключительно важное значение. Альтиметр

(высотомер) нужен для контроля высоты полёта во избежание столкновения с различного рода препятствиями и другими самолётами, для определения высоты самолёта над целью бомбометания и, наконец, как мы видели, для контроля положения самолёта во время посадки при недостаточной видимости земли.

Погрешности альтиметров анероидного типа, основанных на принципе барометра, весьма значительны, составляя до 20÷30 *м* у поверхности земли и сотни метров на высоте в несколько километров. Естественно, что пользование подобными альтиметрами при слепой посадке и во многих иных случаях невозможно. Это обстоятельство вызвало ряд исследований, имеющих целью решить задачу определения высоты иными методами, в том числе и методами радиотехнического характера.

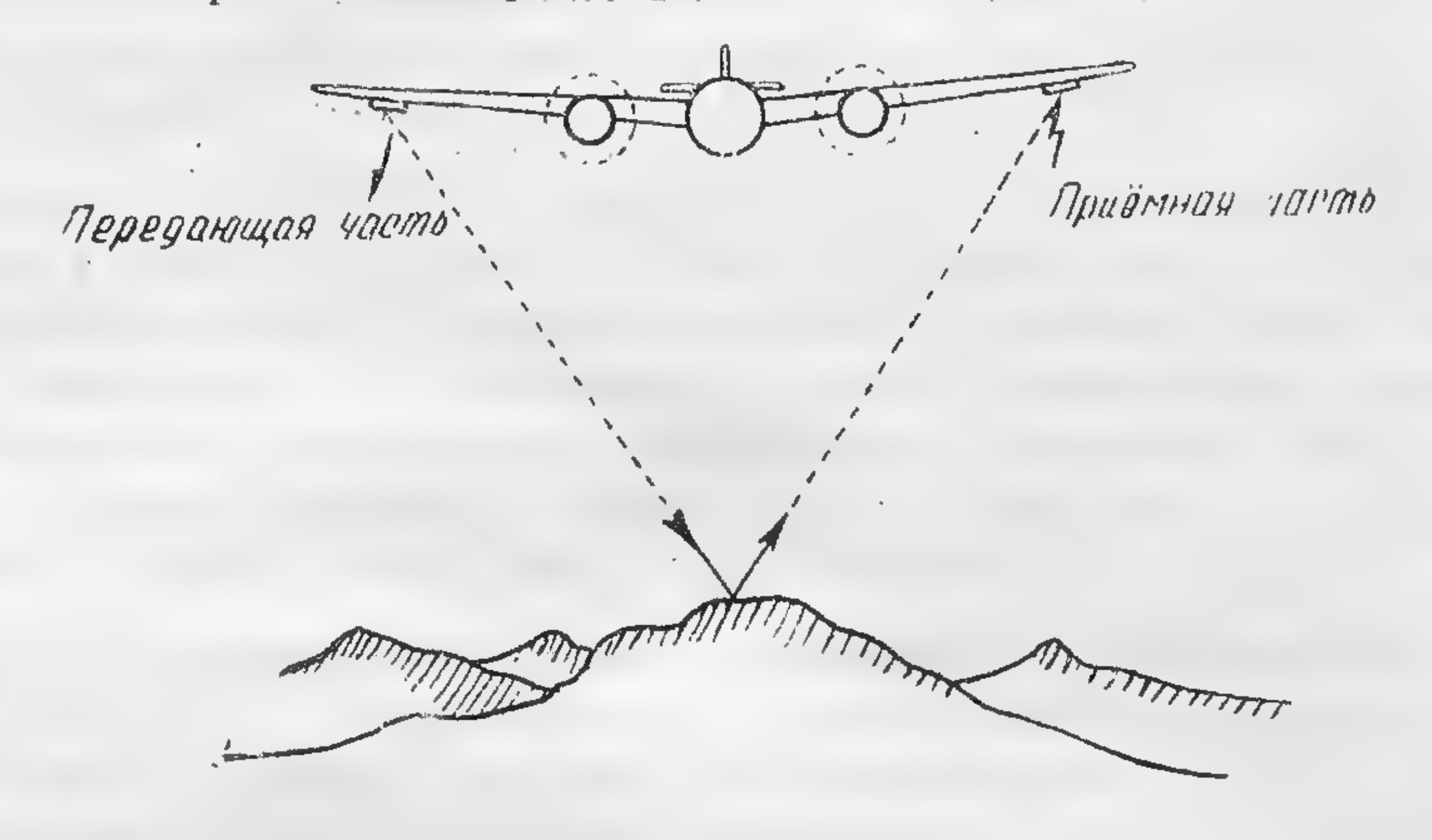


Рис. 17. Принцип измерения высоты.

Появившийся в последнее время «абсолютный альтиметр» представляет собой наиболее удачное решение задачи. Пятиваттный передатчик, работающий на волне 50 *см*, расположен под крылом самолёта. Излучение его антенны направлено вниз (рис. 17). Длина волны периодически изменяется в некоторых пределах. Радиоволны, отражённые от земной поверхности, воздействуют на антенну приёмной установки, расположенной под другим крылом самолёта. Таким образом, на приёмник воздействуют сигналы, непосредственно поступающие от пере-

датчика, и сигналы, отражённые от земли. Так как отражённые радиоволны проходят путь более длинный, чем прямые, почти на величину двойной высоты самолёта над землёй, то все вызываемые ими явления в приёмнике запаздывают на интервал времени, определяемый высотой полёта над земной поверхностью, лежащей непосредственно под самолётом.

Устройство приёмной части таково, что в результате взаимодействия двух сдвинутых по времени сигналов на выходе получается напряжение переменного тока, частота которого прямо пропорциональна высоте полёта.

Включение на выход приёмника индикатора частоты, но со шкалой, отградуированной непосредственно в метрах, даёт альтиметр с непосредственным отсчётом высоты. Этот прибор очень точен и устойчив. Его показания не зависят сколько-нибудь заметно от характера земной поверхности, погоды и т. п. Он может применяться как при полётах на больших высотах, так и для целей слепой посадки.

Авиационная радиотехника последних предвоенных лет и во время войны сделала исключительные успехи как в средствах радионавигации, так и в новой обширной области, объединяемой общим термином: «радиолокация». И то и другое сопряжено с широким использованием очень коротких волн, электроннолучевых трубок, применяемых в качестве индикаторов, и так называемой «импульсной модуляции».

Появились опытные модели радиомаяков, работающих на ультракоротких волнах, с передачей особого характера. На экране электроннолучевой трубки, являющейся индикатором, пилот видит светящуюся окружность с резким выступом в виде зубца.

По мере движения самолёта этот выступ перемещается вдоль окружности, непрерывно указывая на угловой шкале, окружающей экран, направление на радиомаяк.

Основным принципом действия радиолокационных установок является «освещение» самолётов более или менее узким пучком радиоволн, посылаемых группами, образующими весьма кратковременные периодические импульсы. На приёмную установку воздействуют одновременно две серии импульсов: непосредственно излучаемых передающей установкой, находящейся рядом с приёмной, и

импульсов, отражённых от металлической массы самолёта (рис. 18).

На экране электроннолучевой трубки, соединённой с приёмником, те и другие импульсы принимают вид светящихся пятен или выступов, сдвинутых относительно друг друга на величину, пропорциональную запаздыванию радиоволн отражённого луча, проходящих двойное расстояние от радиолокатора до самолёта.

Это позволяет определить расстояние между радиоло-

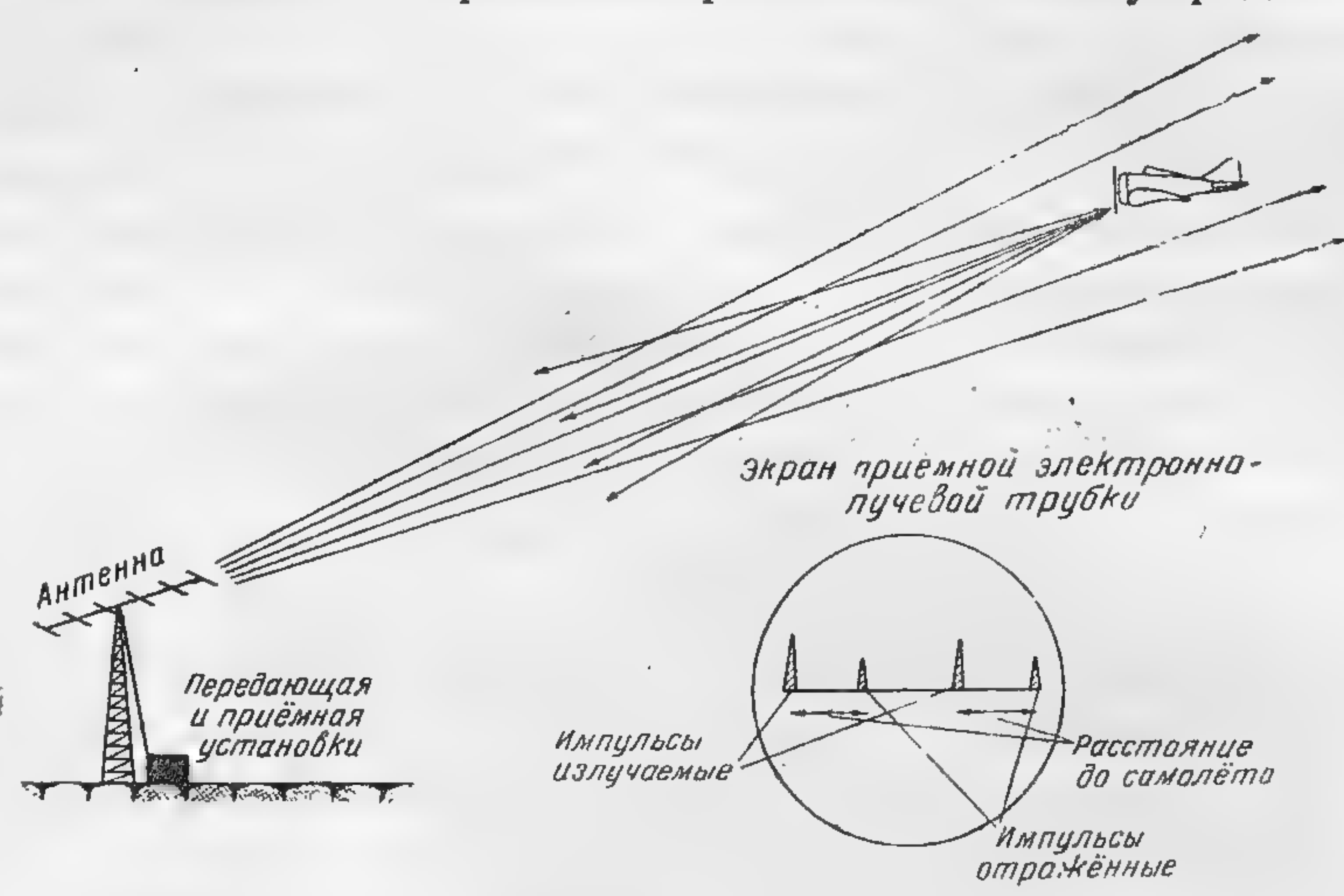


Рис. 18. Радиолокатор.

катором и самолётом в километрах, а направленность, которую имеет излучение передающей части, даёт возможность получить пеленг. Пеленгация в вертикальной плоскости отражённого импульса даёт высоту самолёта над землёй.

Радиолокационные методы обнаружения и определения местонахождения самолёта получили широкое распространение в военном деле для различных форм борьбы с неприятельской авиацией. Не менее широкое применение они нашли и в морской войне. Этот же метод используется и для предупреждения столкновения самолётов в воздухе.

Принципы радиолокации, позволяющие с помощью одной установки определить направление на самолёт и рас-

стояние до него, допускают очень удобное и простое решение задач радиовождения самолётов и их посадки при недостаточной видимости. Не менее просто должны разрешаться и такие вопросы, как наблюдение и контроль за движением самолётов в аэропортовой зоне и на подходах к ней.

В короткой статье нет возможности описать всё то, что дала и что обещает дать новая техника авиационного радио. Можно лишь сказать, что её техническое и эксплоатационное освоение должны привести к новым, более высоким классам точности и надёжности радиовождения, и к широкой автоматизации контроля и управления воздушным движением. И то и другое позволит в большой мере повысить пропускную способность аэропортов и воздушных трасс и поднять безопасность воздушного движения на ещё более высокий уровень.

Проф. Н. А. БАЕВ

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ТЕЛЕФОННАЯ СВЯЗЬ ПО ПРОВОДАМ

Развитие техники дальней телефонной связи началось сразу же после изобретения телефона в 1876 г., т. е., примерно, за 20 лет до изобретения радио. Однако, лишь при помощи методов радиосвязи — применения электронных ламп и преобразования частот — оказалось возможным плодотворное развитие дальней связи до той высокой ступени, на которой она находится в настоящее время.

Теперь уже нельзя говорить о раздельном существовании радио и проводной связи. Оценка различных условий с технической и экономической точек зрения может показать, что в одном случае следует предпочесть осуществление связи только по проводам, в другом целесообразно использовать только средства радиосвязи. Задача же организации связи между двумя абонентами страны или даже всего земного шара, где бы они ни находились, может быть решена только путём комбинированного использования проводных линий и радиостанций.

Основными задачами дальней проводной связи с момента её возникновения являлись достижение неограниченной дальности передачи и экономичное использование проводов, как наиболее дорогостоящей части телефонной цепи.

С целью повышения дальности передачи в период, предшествовавший внедрению радиотехнических методов, увеличивался диаметр проводов, стальные провода заменялись медными, улучшались свойства изоляторов и применялись

более рациональные схемы скрещивания проводов для защиты цепей от взаимного влияния и от внешних помех. К 1900 г. удалось осуществить телефонную передачу на расстоянии порядка 1600 *км,* используя лишь спектр тональных частот.

Использование проводов в этот период повышалось только за счёт одновременного телеграфирования по схеме Пикара. В 1903 г. в эксплоатацию были введены фантомные телефонные цепи, изобретённые ещё в 1882 г., но не освоенные вследствие низкого уровня техники строительства линейных сооружений.

Предложенное в 1893 г. Хевисайдом искусственное увеличение индуктивности линии для уменьшения затухания и тем самым для увеличения дальности передачи было реализовано лишь в 1901 г. Пупином, давшим необходимый инженерный расчёт. Введение пупинизации позволило резко снизить расход меди на сооружение телефонных линий, широко использовать кабельные линии и тем самым повысило надёжность дальней связи. Однако, применение пупинизации дало и отрицательные результаты. Дело в том, что по пупинизированным линиям удаётся передавать лишь ограниченный спектр частот, который в первое время в некоторых случаях не превышал 1800 *гц,* что, разумеется, приводило к снижению качества передачи. Дальность передачи по воздушным линиям с медными проводами большого диаметра увеличилась почти вдвое, но оставалась недостаточной с точки зрения практических потребностей.

В 1912 г. Кемпбелл предложил схему телефонного усилителя двустороннего действия, использовав в качестве усилительного элемента трёхэлектродную лампу. Эта схема в основном осталась неизменной до настоящего времени и широко применяется в каналах тональной частоты. Благодаря применению усилителей дальность телефонной передачи значительно увеличилась и к 1914 г. стало возможным наладить трансконтинентальную связь между Нью-Йорком и Сан-Франциско. Применение усилителей позволило снять пупинизацию с воздушных линий, расширив тем самым полосу передаваемых частот и значительно улучшив качество телефонной передачи. Индуктивность катушек Пупина на кабельных линиях была уменьшена, что хотя и привело к увеличению затухания, но одновре-

менно расширило полосу эффективно передаваемых частот и увеличило скорость распространения сигналов. Получила применение четырёхпроводная система связи по кабельным линиям, обеспечившая неограниченную дальность передачи с точки зрения устойчивости цепи. Однако, эффективность использования проводов оставалась попрежнему низкой. По одной паре проводов одновременно осуществлялось не более одной телефонной и одной телеграфной передачи.

Новая эпоха в развитии дальней проводной связи началась в 1915 г., после того как Кемпбелл предложил электрические фильтры. Появилась возможность повысить использование проводов путём применения радиотехнических методов передачи сигналов при помощи модулированных токов высокой частоты.

К концу первой мировой войны в Соединённых Штатах разрабатывается и вводится в эксплоатацию первая установка многократного телефонирования на четыре разговора в полосе частот от 5 до 25 *кгц*. Для каждого разговорного канала в обоих направлениях передачи использовалась одна и та же полоса частот. Различение направлений передачи обеспечивалось диференциальными трансформаторами с балансными контурами, как в усилителях тональной частоты по схеме Кемпбелла. В линию передавались нижние боковые полосы несущих частот 10, 15, 20 и 25 *кгц*, причём сами несущие частоты не передавались. Эта система обладала следующими недостатками: 1) усиление промежуточных усилителей ограничивалось взаимным влиянием (так же, как и в случае усилителей тональной частоты двустороннего действия) вследствие невозможности точно подобрать балансные контуры; 2) существовало взаимное влияние между установками при работе на параллельных цепях, подвешенных на одной и той же столбовой линии, вследствие меньшего переходного затухания между цепями в области высоких частот.

К середине 20-х годов окончательно установилась и получила широкое распространение так называемая «трёхканальная система» многократного телефонирования, работающая в полосе частот от 6 до 30 *кгц*. Особенностью этой системы является электрически четырёхпроводная схема связи, характеризующаяся тем, что в различных направлениях передачи разговора передаются различные

полосы частот. Это обстоятельство позволило отказаться от применения диференциальных систем и использовать для разделения разговорных направлений избирательные свойства фильтров. В установках подобного рода в линию передаются также только боковые полосы несущих частот.

При разработке предусматривалась возможность работы трёхканальной системы на параллельных цепях одной и той же магистрали. Одним из мероприятий, обеспечивающих такую работу, является тщательное согласование входного сопротивления аппаратуры с входным сопротивлением линии с целью уменьшить взаимное влияние между цепями за счёт перехода отражённых токов. Другое мероприятие заключалось в том, что трёхканальную систему телефонирования токами высокой частоты начали изготовлять в двух вариантах, отличающихся несколько сдвинутым расположением несущих частот. Сдвиг несущих частот приводит к тому, что при работе систем различного типа на соседних цепях с одной цепи на другую переходит энергия лишь части разговорного спектра, вследствие чего внятность переходного разговора уменьшается, что эквивалентно увеличению переходного затухания между цепями.

Нормальное усиление аппаратуры трёхканальной системы составляет, примерно, 5,2 *неп*, что обеспечивает её работу при расстоянии между промежуточными усилителями порядка 250÷350 *км*, причём имеется достаточный запас усиления на случай изморози, когда затухание линии резко возрастает. Так как на линиях протяжённостью порядка 250÷350 *км* в области частот трёхканальной системы замечается значительное изменение затухания в зависимости от изменения погоды в течение суток, то в системе предусмотрено устройство автоматической регулировки усиления. Введение такой регулировки обеспечивает постоянство громкости передачи в достаточно узких пределах при любом практическом протяжении линии.

При разработке аппаратуры трёхканальной системы наметилась тенденция расширения передаваемого спектра тональных частот для улучшения качества передачи. Так, если по каналам тональной частоты ограничивались передачей спектра частот от 300 до 2400 *гц*, то по каналам трёхканальной системы начали передавать спектр от 200 до 2700 *гц*.

В СССР аппаратура высокочастотного телефонирования впервые была введена в эксплоатацию в 1924 г., начало же широкого распространения высокочастотной связи относится к 1934 г., когда производство необходимой аппаратуры было освоено отечественной промышленностью. Эта аппаратура несколько отличалась от описанной выше. Работа происходила с передачей в линию токов несущих частот. Три разговорных канала занимали для двусторонней связи полосу частот от 10 до 40 *кгц*. Работа на параллельно подвешенных цепях не была обеспечена. Спектр передаваемых разговорных частот ограничивался полосой от 300 до 2400 *гц*, причём с увеличением числа последовательно включаемых в линию промежуточных усилителей этот спектр суживался, и при 6—7 усилителях доходил до полосы от 400 до 2000 *гц*. Автоматическая регулировка усиления отсутствовала.

Замена этой аппаратуры на более совершенную, работающую без передачи несущей частоты, началась в 1938—1939 гг. Март 1939 г. ознаменовался величайшей победой советской техники проводной связи: в эксплоатацию вступила телефонная магистраль Москва — Хабаровск, наиболее длинная в мире, протяжённостью свыше 8500 *км*. Все сооружения магистрали Москва — Хабаровск были спроектированы и построены из отечественных материалов под руководством советских инженеров. Аппаратура трёхканальной системы, работающая без передачи несущей частоты, снабжённая автоматической регулировкой усиления и другими известными в то время усовершенствованиями, была выполнена Ленинградским ордена Ленина заводом «Красная заря».

В связи с постройкой телефонной магистрали столь большого протяжения сильно продвинулась вперёд разработка теоретических вопросов дальней проводной связи, в частности, вопросов устойчивости каналов связи и разработки системы скрещивания телефонных цепей, обеспечивающей их использование в полосе высоких частот.

В начале 30-х годов в тех странах, где была широко развита сеть междугородных пупинизированных линий, наметилась тенденция к уплотнённому их использованию, т. е. к наложению дополнительных каналов высокочастотной связи. В связи со стремлением расширить спектр передаваемых тональных частот и стремлением увеличить

скорость распространения сигналов индуктивность пупиновских катушек на вновь прокладываемых кабелях всё время уменьшалась. На цепях большого протяжения продольная частота пупинизации кабелей повысилась настолько, что ширина спектра частот, который могла пропустить пупинизированная линия, намного превысила ширину полосы частот тонального спектра, необходимую для воспроизведения разговорной речи с наивысшим качеством. Неиспользованная часть спектра и была отведена для высокочастотных каналов.

Первые пупинизированные кабели, уплотнённые высокочастотной аппаратурой, появились в эксплоатации около 1935 года. В спектре частот до 6 *кгц* был осуществлён один дополнительный разговор, в спектре частот до 16 *кгц* — четыре дополнительных разговора.

Однако, экономические соображения очень скоро привели к полному отказу от пупинизации кабелей и к переходу на непупинизированные кабели с получением двенадцати разговорных каналов в спектре частот от 12 до 60 *кгц*. Использование кабеля в столь широком диапазоне частот соответственно потребовало проведения целого ряда новых разработок, в том числе разработок по уменьшению переходных разговоров в кабеле в области высоких частот. Были разработаны также автоматические регулирующие устройства, необходимые для компенсации изменений затухания кабеля, происходящих при изменении температуры. Вследствие большого затухания непупинизированного кабеля в области высоких частот промежуточные усилители пришлось устанавливать приблизительно через каждые 30÷35 *км*. Естественно, что увеличение числа усилителей, последовательно включённых в цепь передачи, потребовало повысить требования к стабильности этих усилителей. Чтобы удовлетворить эти повышенные требования, в усилителях была применена отрицательная обратная связь, уже реализованная в различных отраслях радиотехники.

Использование высоких частот позволило допустить большое затухание кабеля на участке между двумя усилительными станциями, поскольку в области этих частот внешние воздействия на кабель сказываются сравнительно мало, что для различных направлений уменьшает взаимное влияние между каналами связи. Как известно, пре-

дельная величина затухания линии определяется соотношением уровней полезного сигнала и шума. Малые внешние влияния и малая величина переходного разговора обусловливают и малую величину помех. Вследствие этого возможно допустить значительное затухание токов полезных сигналов, т. е. очень большую разность уровней в начале и конце кабельного участка.

Необходимо особо подчеркнуть, что несмотря на значительное увеличение числа каналов связи ширина эффективно передаваемой полосы в аппаратуре двенадцатиканальной системы не только не уменьшена, но даже расширена и занимает от 150 до 3400 *гц*. Опыт показал, что передача такой широкой полосы частот, отсутствие шума и достаточная громкость разговора значительно улучшили качество связи. Скорость распространения сигналов по непупинизированному кабелю достигает 200 000 *км* в секунду, поэтому даже на линиях очень большого протяжения не будет сказываться наличие эхо или других явлений, обусловленных низкой скоростью распространения.

Применение кабелей, уплотнённых аппаратурой двенадцатиканальной системы высокочастотного телефонирования, вполне себя оправдывает. Во-первых, значительно снижаются затраты меди на канало-километр цепи и появляется возможность прокладки кабелей малой ёмкости, во-вторых, уменьшаются первоначальные капиталовложения, так как количество аппаратуры уплотнения может увеличиваться постепенно, по мере увеличения потребности в телефонных каналах. Для того, чтобы снизить эксплоатационные расходы, в оборудовании кабельных магистралей двенадцатиканальной системы применено существенное нововведение: каждые две или три усилительные станции приспосабливаются для работы без обслуживания. От каждой из таких станций на ближайшую обслуживаемую станцию предусмотрена подача различных сигналов, отмечающих перегорание предохранителей, выключение и восстановление силовой сети, выход из строя выпрямителей, повышение и падение напряжения источников питания и т. д. Сомнительный сигнал может быть проверен с обслуживаемой станции.

Первый непупинизированный кабель, уплотнённый двенадцатиканальной системой высокочастотного телефонирования, был проложен в Англии в 1936 году. Вскоре

после этого новая система дальней связи по кабелю была принята в Соединённых Штатах и в ряде других стран.

В 1938 г. в Соединённых Штатах была разработана и передана в эксплоатацию двенадцатиканальная система связи для воздушных линий. Распределение частот новой аппаратуры позволяло использовать её на цепях, уже уплотнённых трёхканальной системой связи без несущей частоты. Таким образом, совместное использование канала тональной частоты, аппаратуры трёхканальной системы и аппаратуры двенадцатиканальной системы обеспечило получение шестнадцати разговорных каналов по одной паре проводов. Двенадцатиканальная система для воздушных линий использует полосу частот от 36 до 144 *кгц*, причём передача разговорных сигналов в одном направлении идёт в полосе частот от 36 до 84 *кгц*, а передача сигналов в другом направлении в полосе частот от 92 до 144 *кгц*. Для уменьшения взаимного влияния при работе этой системы на параллельно расположенных цепях разработано четыре варианта аппаратуры с применением инверсии и сдвига несущих частот.

Характерной особенностью аппаратуры является трёхкратное преобразование частот. Первая ступень преобразования обусловлена применением кварцевых фильтров, наиболее эффективно работающих в полосе частот от 60 до 100 с небольшим килогерц, в соответствии с чем и несущие частоты для первой ступени преобразования выбраны равными 64, 68, 72... 108 *кгц*. Вторая ступень преобразования частот необходима для устранения взаимных помех между каналами, и, наконец, посредством третьей ступени преобразования получаются полосы частот, посылаемые в линию.

Усилительные пункты двенадцатиканальной системы на воздушных линиях должны быть расположены на расстоянии порядка 130 *км*.

К линейным сооружениям предъявляются новые, порой очень суровые требования. В частности, требуется улучшение системы скрещивания и высокая однородность линии (одинаковые расстояния между проводами, равенство стрел провеса проводов, одинаковые расстояния между столбами, исключение вставок проводов другого материала и диаметра и т. д.). Необходимо также тщательное согласование входных сопротивлений различных

элементов цепи, в том числе применение пупинизации кабельных вводов и станционной проводки. Потребовалось проведение в жизнь целого ряда мероприятий, обеспечивающих снижение взаимного влияния между различными цепями при вводе их в усилительный пункт и т. д.

В СССР аппаратура многократного телефонирования двенадцатиканальной системы для воздушных линий была разработана Центральным научно-исследовательским институтом связи совместно с Ленинградским ордена Ленина заводом «Красная заря». В 1941 г. был выпущен первый образец этой аппаратуры, изготовленный целиком из отечественных материалов под руководством советских специалистов. Аппаратура прошла испытания в линейных условиях, показала прекрасные качества и получила значительное распространение на магистральных линиях.

Благодаря большой ширине передаваемой полосы тональных частот аппаратура двенадцатиканальной системы позволяет вдвое увеличить число разговорных каналов и удовлетворить без значительных затрат возросшую во время войны потребность в связи. Основной канал при помощи фильтров можно разделить на два — первый шириной от 140 до 1700 *гц* и второй от 1850 до 3400 *гц*, и использовать второй канал для самостоятельной цепи связи путём применения дополнительной (четвёртой) ступени модуляции. Разумеется, подобное разделение разговорного канала на два ведёт к значительному снижению качества передачи и должно рассматриваться как временное мероприятие.

В случае разделения каналов по одной паре проводов воздушной линии в спектре частот от 300 до 144 000 *гц* осуществляется 28 одновременных телефонных разговоров. На многих магистральных направлениях по одному из разговорных каналов трёхканальной аппаратуры вместо телефонного разговора производится телеграфная передача по системе тонального телеграфирования. Аппаратура тонального телеграфирования позволяет одновременно вести 18 дуплексных телеграфных передач. Таким образом, в настоящее время эффективность использования проводов воздушной линии достигла очень высокой степени.

К концу 30-х годов одновременно с разработкой аппаратуры двенадцатиканальной системы для кабельных и воздушных линий была разработана и осуществлена но-

вая система связи, основанная на применении коаксиальных кабелей. Кабели этого типа позволяют осуществить передачу спектра частот до 3000 *кгц*, что может обеспечить передачу 240 телефонных разговоров, одновременно с передачей сигналов телевидения, или передачу 720 телефонных разговоров. Совершенно очевидно, что использование коаксиальных кабелей даёт значительную экономию расхода меди на канало-километр цепи.

Внешний проводник коаксиального кабеля, по крайней мере для частот свыше 50 *кгц*, служит весьма эффективным экраном против внешних влияний. Следовательно, при работе по коаксиальному кабелю можно допустить весьма низкий уровень сигналов, соответствующий затуханию кабельного участка между усилителями порядка 7 *неп*.

Подводя итоги, необходимо подчеркнуть, что исключительно быстрое развитие дальней проводной связи началось с тех пор, когда к этому виду связи стало возможным применить радиотехнические методы передачи сигналов. В настоящее время грань между техникой радиосвязи и техникой связи по проводам постепенно стирается и дальнейшее развитие связи должно пойти по пути комплексного использования этих считающихся различными, но по существу единых методов связи.

Проф. С. Я. ТУРЛЫГИН

ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОТЕХНИКИ

Радиотехника в своём существе является техникой высокой частоты. Трудно указать области, в которые высокочастотная техника или не проникла бы сама, или не ввела бы те принципы и приёмы, которыми она пользуется. Электрорегулировка, автоматика, прикладная акустика, тонкая измерительная техника, некоторые разделы медицины и сельского хозяйства, наконец, чисто заводско-промышленное применение токов высокой частоты — вот те обширные области, в которых высокая частота используется непосредственно, а те стороны науки и техники, на которые радиотехника вообще оказывает влияние, просто невозможно перечислить.

Мы остановимся на чисто промышленном применении радиотехники, которое в настоящее время приобретает большое значение. Хотя внедрение радиотехники в промышленность далеко до своего завершения, однако, оно уже сейчас не только коренным образом изменяет технологические процессы и приёмы их выполнения, но и приводит к возникновению совершенно новых областей промышленного производства.

Промышленное применение радиотехники в настоящее время основывается, главным образом, на использовании теплового эффекта от тока, протекающего по материалу. При этом выделяются два приёма нагревания, существенно отличающиеся друг от друга. Первый приём основывается на применении электромагнитной индукции, когда нагреваемое тело помещают в «индуктор» — катушку, возбуждающую в теле электрический ток (нагревание «током»,

«индукционный способ»). Второй приём использует для нагревания поле электрическое. Здесь нагреваемый материал помещают в поле конденсатора, находящегося под напряжением высокой частоты (нагревание «напряжением»).

Познакомимся поочерёдно с каждым из этих методов нагревания.

Электронагрев с помощью индукции токами вч появился, примерно, через десять лет после открытия А. С. Попова и неуклонно развивается до настоящего времени. Причиной этого является не только чрезвычайная лёгкость, чистота и удобство электронагрева, но и исключительная его экономичность. Всюду, где появляются электропечи, они стоят вне конкуренции с печами чисто термическими. Например, принимая расход тепла для плавки стали в тигельной печи за 100%, мы получим расход его в печи мартеновской в 14÷18%, в дуговых электропечах 8÷9%, а в печах индукционных — только в 7%. Вот почему промышленная роль индукционных печей неуклонно и чем дальше, тем больше развивается. Рост общей мощности индукционных печей за последние годы показан на рис. 1.

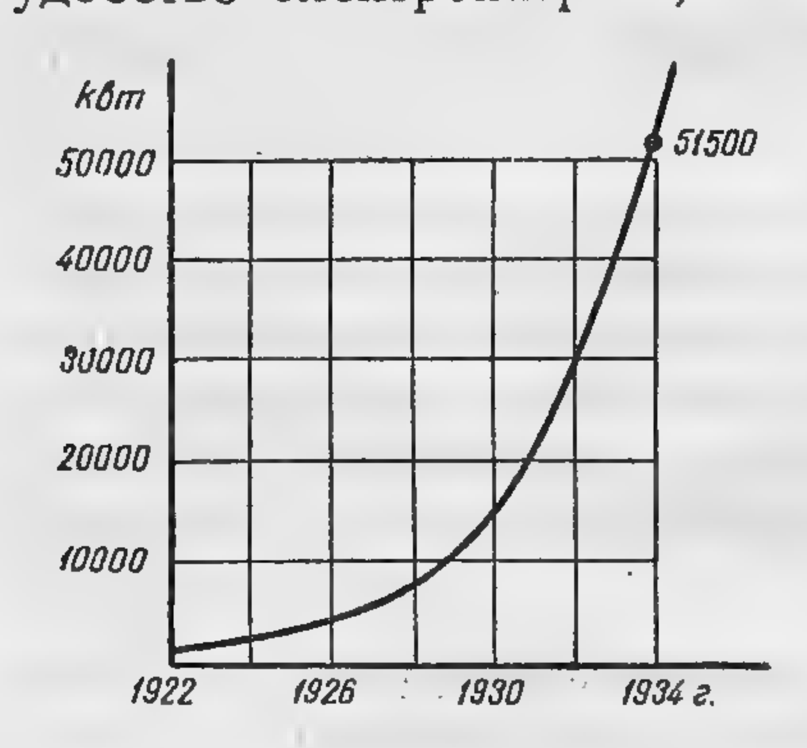


Рис. 1. Рост общей мощности индукционных печей.

Как известно, техника неуклонно стремится к тому, чтобы достигнуть наибольшей концентрации тепла в небольшом пространстве. Трудно указать иные установки, кроме электрических (и, в частности, опять-таки индукционных), где такую концентрацию можно осуществить столь легко и с малыми потерями в окружающую среду. Даже пламя атомного водорода, имеющего температуру в 4300°Ц (кстати сказать, получаемого тоже электрически), не может конкурировать с электрическими установками. Происходит это потому, что при электрическом нагреве индукционным способом передача энергии нагреваемому телу совершается без участия каких бы то ни было контактов: ток в тысячи ампер возбуждается в теле магнитным по-

лем и всё тепло создаётся внутри самого тела, минуя «теплопередачу через поверхность».

Основная принципиальная схема этого метода представлена на рис. 2. Нагреваемый предмет AA — материал, обладающий определённым удельным сопротивлением ρ и магнитной проницаемостью μ, — помещён в катушку индуктивности L, которая совместно с конденсатором C образует электрический контур, в котором возбуждаются колебания.

Принимая для упрощения μ и ρ за постоянные, можно считать распределение тока по глубине тела таким, как это показано на рис. 3. Здесь r—радиус цилиндрического тела AA, а δ — «глубина погружения» тока (в сантиметрах), равная

$$\delta = 50\sqrt{\frac{\rho}{\mu f}},$$

где f— частота возбуждающего тока, $\rho - \frac{ом\ мм^2}{м}$.

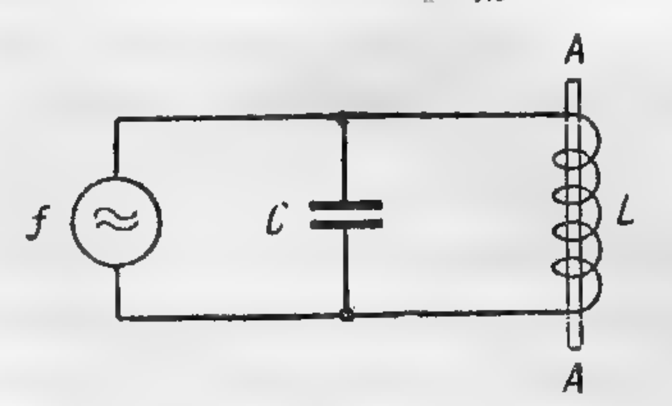


Рис. 2. Принципиальная схема индукционного нагрева.

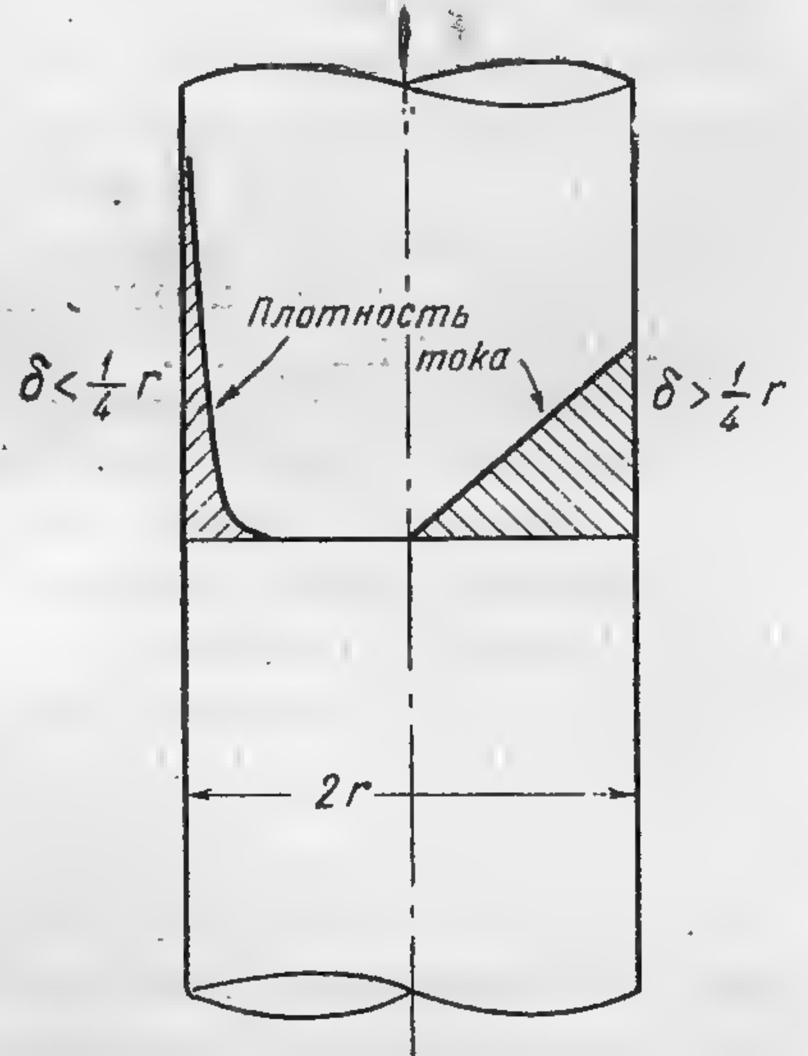


Рис. 3. Распределение тока по сечению железного стержня.

Глубина погружения тока, как непосредственно следует из её математического выражения, уменьшается с возрастанием частоты возбуждающего тока. При большой частоте ток стелется вблизи самой поверхности и при достаточной мощности может не только накалить её, но и оплавить, тогда как сердцевина тела останется совершенно ещё холодной. Существенно также то, что полное поглощение энергии каждым погонным сантиметром при высокой частоте пропорционально $\frac{r}{\delta}$, тогда как при низкой оно пропорционально $\left(\frac{r}{\delta}\right)^4$, т. е. падает при уменьшении r пропор-

ционально квадрату сечения тела. Иначе говоря, нагревать мелкие детали током низкой частоты — задача не лёгкая. Поэтому чем мельче деталь, тем выше должна быть частота нагревающего тока.

Область применения самой дешёвой электрической энергии — промышленного тока с частотой $f = 50$ *гц* ограничивается обработкой крупных деталей. Более широкое техническое применение (плавка металлов, закалка и пр.) находит звуковая частота ($f = 2000$ *гц*). Трудности использования звуковой частоты объясняются лишь трудностью конструирования и производства мощных генераторов. Эти мощности, достигающие у нас в Союзе 150 *квт*, достаточно малы по сравнению, например, с мощностью дуговых электропечей, выключающие органы которых для отдельных агрегатов выбираются на 20 000 *квт* при 100 000 *а* на фазу.

Значительно благоприятнее в отношении нагрева обстоит дело с высокой (радио) частотой, что легко проиллюстрировать хотя бы на одном применении её — на закалке стали.

Напомним, что в состоянии закалки сталь приобретает очень высокую твёрдость и большую хрупкость за счёт сильного снижения своей вязкости. Если до закалки сталь обладала твёрдостью (по Брюнелю) в 200 единиц, и сопротивлением удару в $4 \div 5$ *кг/см*^{2}, то после закалки твёрдость её будет 900 единиц, а сопротивление удару всего только $0{,}1 \div 0{,}15$ *кг/см*^{2}. Закалённая сталь резко увеличивает сопротивление на износ, но теряет его в отношении крепости, как высокосортного конструкционного материала.

Чтобы повысить сопротивление износу и сохранить крепость, сталь надо закалить только на поверхности, оставив сердцевину сырой. Но так как удельный объём у закалённой стали больше, чем у сырой, то следует заботиться также о том, чтобы в металле не появились чрезмерные внутренние напряжения, ведущие к трещинам и браку. Поверхностную закалку, удовлетворяющую поставленным требованиям, можно осуществить с помощью токов вч.

Выгоды подобной закалки получаются исключительными. Например, повышение износоустойчивости головок рельсов сберегает за год много тысяч километров рельсов; устойчивость бандажей подвижного железнодорожного состава, в частности, паровозов, приводит к коренной реор-

ганизации и удешевлению железнодорожного хозяйства; закалка коленчатых валов и прочих трущихся деталей всевозможных двигателей ведёт к удлинению их службы более чем в два раза, что эквивалентно либо сокращению в два раза потребного производства, либо двойному насыщению страны этими двигателями. Не перечисляя крайне многочисленные и самоочевидные выгоды от такой закалки, отметим лишь, что *суточная* экономия благодаря такой закалке достигает по подсчётам сотни миллионов рублей.

В чем же собственно состоит процесс закалки?

Процесс закалки использует то обстоятельство, что чистое железо при нагревании претерпевает ряд существенных внутренних изменений, характеристика которых дана в табл. 1.

Таблица 1

Температура нагрева	0÷769°	769÷906°	906÷1401°	1401÷1528°	Более 1528°
Свойства	α-железо, магнитно, не растворяет в себе углерод	β-железо, немагнитно, не растворяет углерод	γ-железо, немагнитно, растворяет углерод	δ-железо, магнитно, растворяет углерод	железо расплавляется

Сталь — это железо с углеродом до 1,7%. При постепенном повышении температуры стали железо, входящее в неё, будет проходить через все модификации: α, β, γ и δ, отмеченные в табл. 1, только переходные температуры будут несколько отличаться от указанных в зависимости от процентного содержания углерода. При медленном охлаждении процесс пойдёт обратно и из γ-железа, растворившего в себе при высокой температуре углерод, последний будет выкристаллизовываться. Производя охлаждение весьма быстро, на 100÷150°Ц в секунду, можно за весьма малый промежуток времени γ-железо перевести в α-железо. Если этот промежуток времени будет настолько мал, что углерод не успеет выкристаллизоваться из γ-железа, то он застрянет в кристаллической решётке α-железа, сильно её растягивая. Это и будет закалённая сталь. Материал получится твёрдым и хрупким, со структурой, получившей название «мартенсит».

Для электрозакалки стальной цилиндр охватывают катушкой, по которой пропускают мощный ток (в 500÷÷1000 *а*). Поверхность цилиндра, находящегося в поле катушки, начнёт разогреваться и тепло будет уноситься вследствие теплопроводности металла в глубь детали. Чтобы температура поверхности возрастала, этот унос тепла должен быть всегда меньше того, который доставляется электрическим током. При температуре на поверхности в 800÷1000°Ц и при 0°Ц на глубине в 1 *см* унос тепловой энергии с каждого квадратного сантиметра достигнет 0,4÷0,6 *квт*. С учётом кпд генераторов это соответствует мощности порядка 1—1,5—2 *квт/см*². Таким обра-

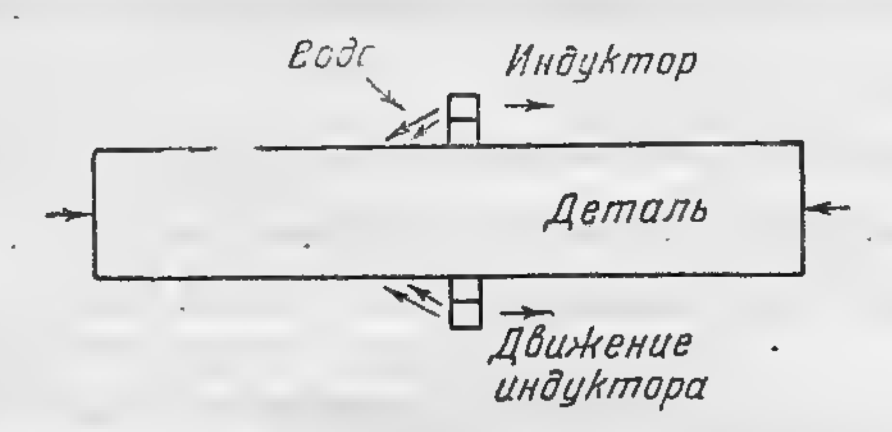


Рис. 4. Последовательная закалка.

зом, например, для закалки валика диаметром 3 *см* и высотой 10 *см* требуется уже генератор мощностью в 100÷÷200 *квт*. Чтобы закалить деталь, используя генераторы сравнительно небольшой мощности, производят так называемую «последовательную» закалку. При ней индуктор, выполняемый в виде полого кольца, медленно передвигают вдоль оси детали (рис. 4) и получают кольцеобразный накал поверхности. Наинизшая температура нагрева будет у переднего края (по движению) индуктора, а наивысшая — у заднего края. Через отверстия в задней стороне индуктора обильно подаётся охлаждающая жидкость, которая попадает как раз на сильно накалённую часть поверхности и закаливает её. Непрерывно передвигая индуктор с одного конца детали к другому, получают закалку всей поверхности. При этом способе закалки требуется генератор гораздо меньшей мощности, чем при одновременной закалке всей детали. Так «последовательная» закалка прокатного валка диаметром 100 *мм* требует генератора мощностью, примерно, в 300 *квт*.

Мощность генератора можно снизить, если для умень-

шения уноса тепла с поверхности детали произвести подогрев всей детали до 500÷600°Ц. Тогда генератор должен будет затратить на нагрев значительно меньшее количество энергии. Нагрев сердцевины до температуры ниже образования γ -железа, не вызывает растворения углерода, а следовательно, и закалки: сердцевина остаётся сырой и вязкой. Опыт показал, что, используя подогрев детали, можно снизить мощность генератора, примерно, в 5 раз. Однако, выгоды этого метода заключаются не только в уменьшении требуемой мощности. Столь же важно сокращение внутренних напряжений, остающихся в металле, и более равномерное распределение температур. Наконец, при данном способе можно получить весьма глубокие закалённые слои, такие, каких при радиочастотах ($6 \cdot 10^5 \div 10^6$ *гц*) обычным способом получить не удаётся.

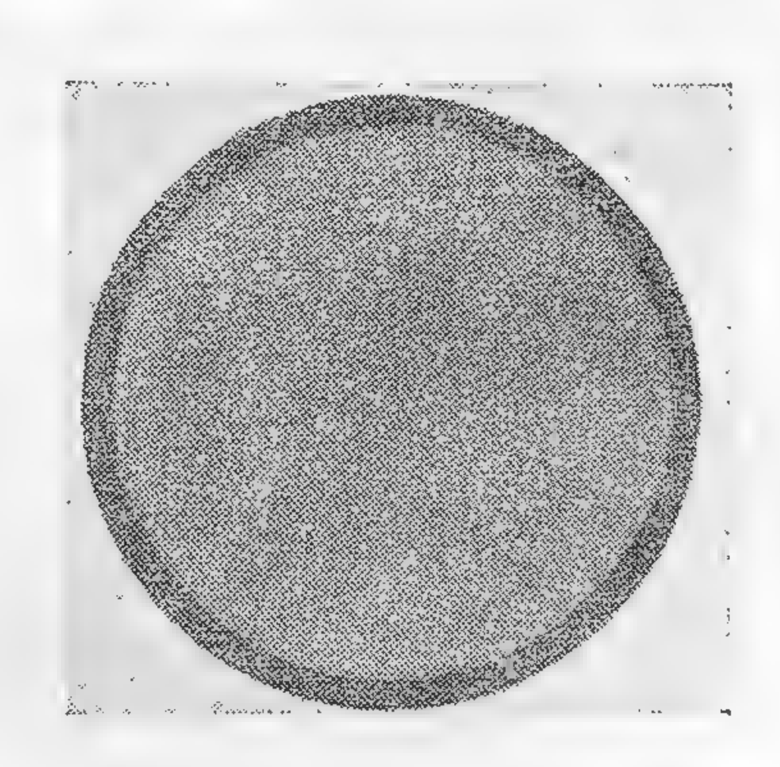


Рис. 5. Разрез закалённой вч шейки коленчатого вала.

На рис. 5, 6, 7, 8, 9 и 10 даны разрезы инструмента и деталей, закалённых токами высокой частоты (закалённый слой после протравы имеет тёмную окраску).

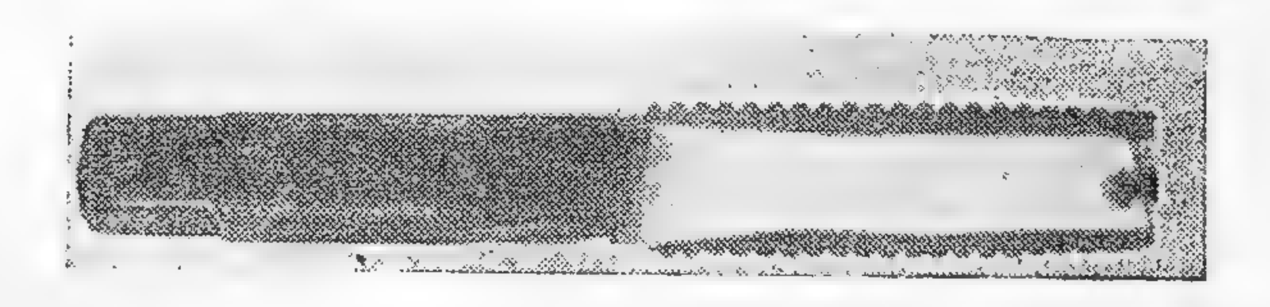
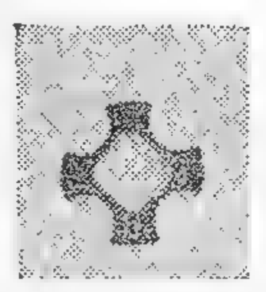



Рис. 6. Разрез закалённого вч метчика.

Для координации всех работ промышленного и исследовательского характера в 1939 г. постановлением СНК СССР было образовано Центральное бюро поверхностной закалки, занимающееся, в частности, разработкой аппаратуры. На рис. 11 и 12 показаны разработанные ЦБПЗ генераторы мощностью в 400 *квт* — открытого типа (двухтактная схе-

ма Гарлея) и в 300 *квт* — закрытого типа (3 лампы впараллель, схема Гартлея).

Генераторы для закалки токами высокой частоты обычно собираются по схеме Гартлея на лампах ГДО-30 и ГК-433, однако, простота схемы Гартлея вряд ли окупает неудобства, связанные с генерированием и настройкой генератора на оптимум при перестановке различных деталей. В эту область, повидимому, будут введены изменения.

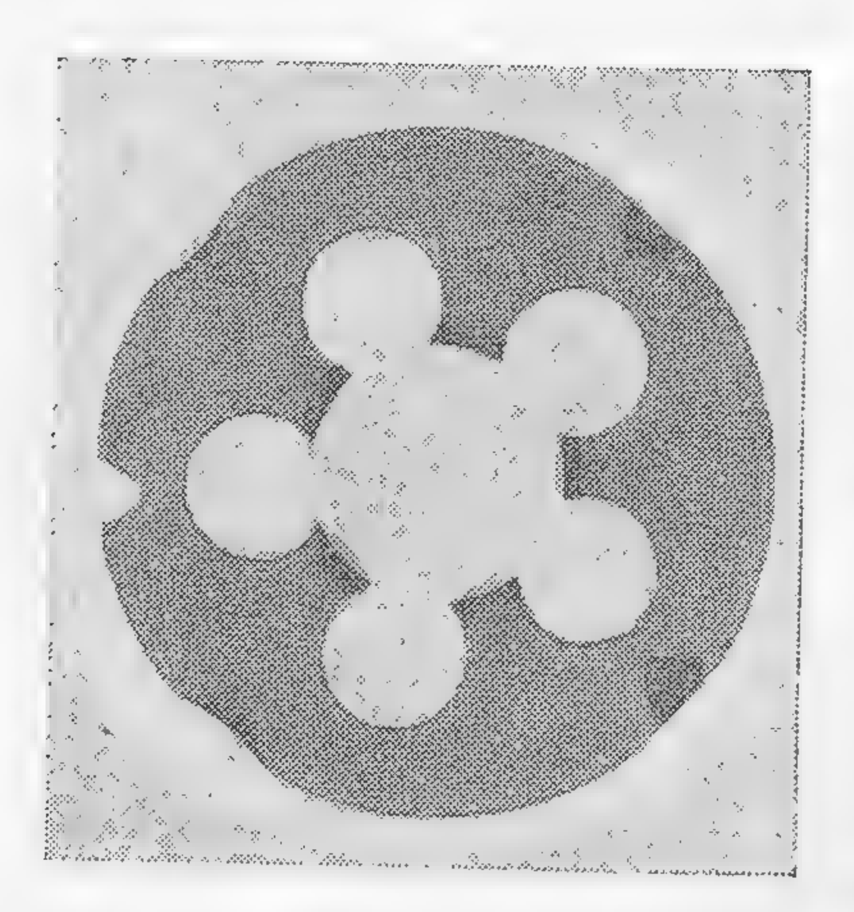


Рис. 7. Разрез закалённой вч плашки.

Перейдём к рассмотрению второго метода нагрева — нагрева электрическим полем. Этот метод применим, главным образом, к телам, материал которых относится к так называемым плохим проводникам или несовершенным диэлектрикам (а «совершенных» диэлектриков, как известно, в природе не существует).

Напомним, что всякий диэлектрик характеризуется весьма большим сопротивлением постоянному току. Будучи помещён в электрическое поле, диэлектрик находится в состоянии поляризации, которую можно охарактеризовать коэфициентом диэлектрической индуктивности ε.

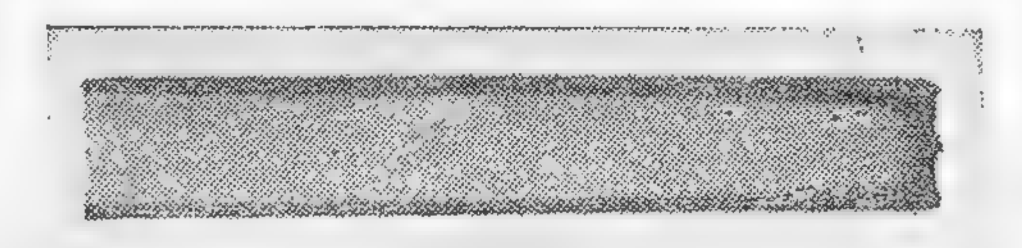


Рис. 8. Разрез закалённого вч пуансона.

Классическая теория согласно взглядам Фарадея считает ε постоянной величиной. Фактически ε меняется и от температуры и от времени, в течение которого диэлектрик находится в поле, от величины поля и, наконец, от частоты, с которой это поле меняется.

Схематически в диэлектрике в момент изменения величины электрического поля проходит три основных процес-

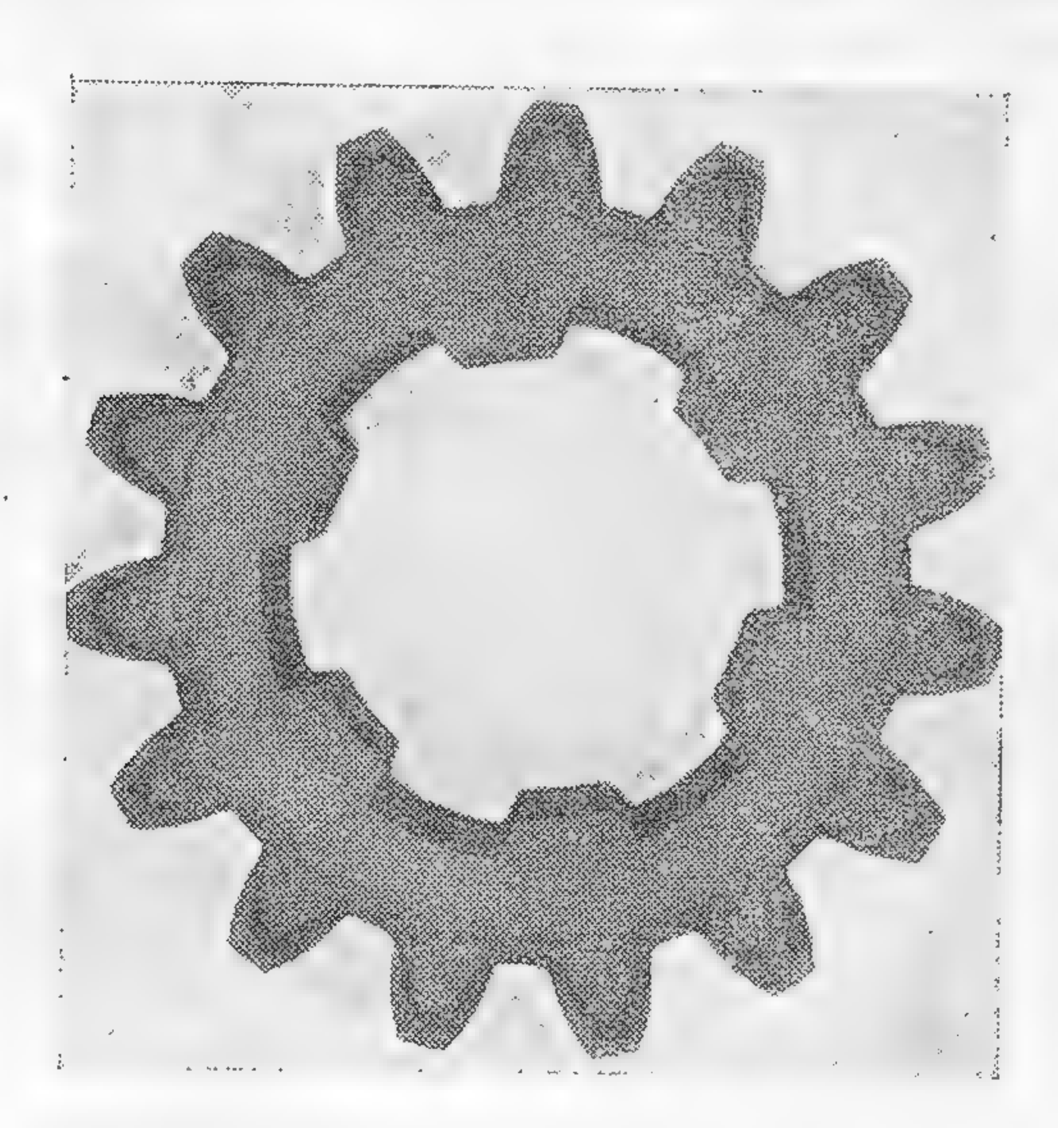


Рис. 9. Разрез закалённой вч зубчатки (шестерни).

са. Самым быстрым является процесс упругого смещения электронов внутри атома относительно ядра. Энергии здесь поглощается весьма немного и затраченное время измеряется периодом инфракрасных лучей. Вторым процессом будет поворот вдоль силовых линий поля дипольных молекул, т. е. таких молекул, положительные и отрицательные заряды которых не совпадают в одной точке, но раздвинуты на некоторое расстояние друг от друга. На эту операцию тратится от 10^{-10} до 10^{-12} секунды в зависимости от вязкости вещества и соотношения между его температурой и силой электрического поля. В тот момент, когда

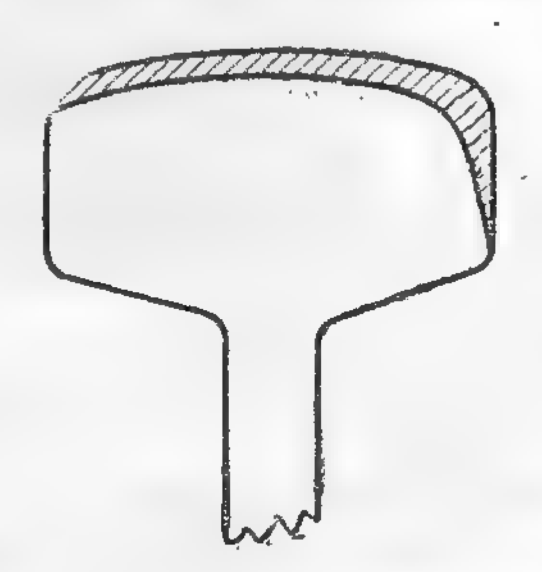


Рис. 10. Разрез закалённой вч головки рельса.

поле стремится ориентировать молекулы вдоль своих силовых линий, тепловое движение стремится разбить это преимущественное положение и сделать своё, равномерное. Сила возникшего в диэлектрике поля, а следовательно, и величина ε определяется числом и степенью ориен-

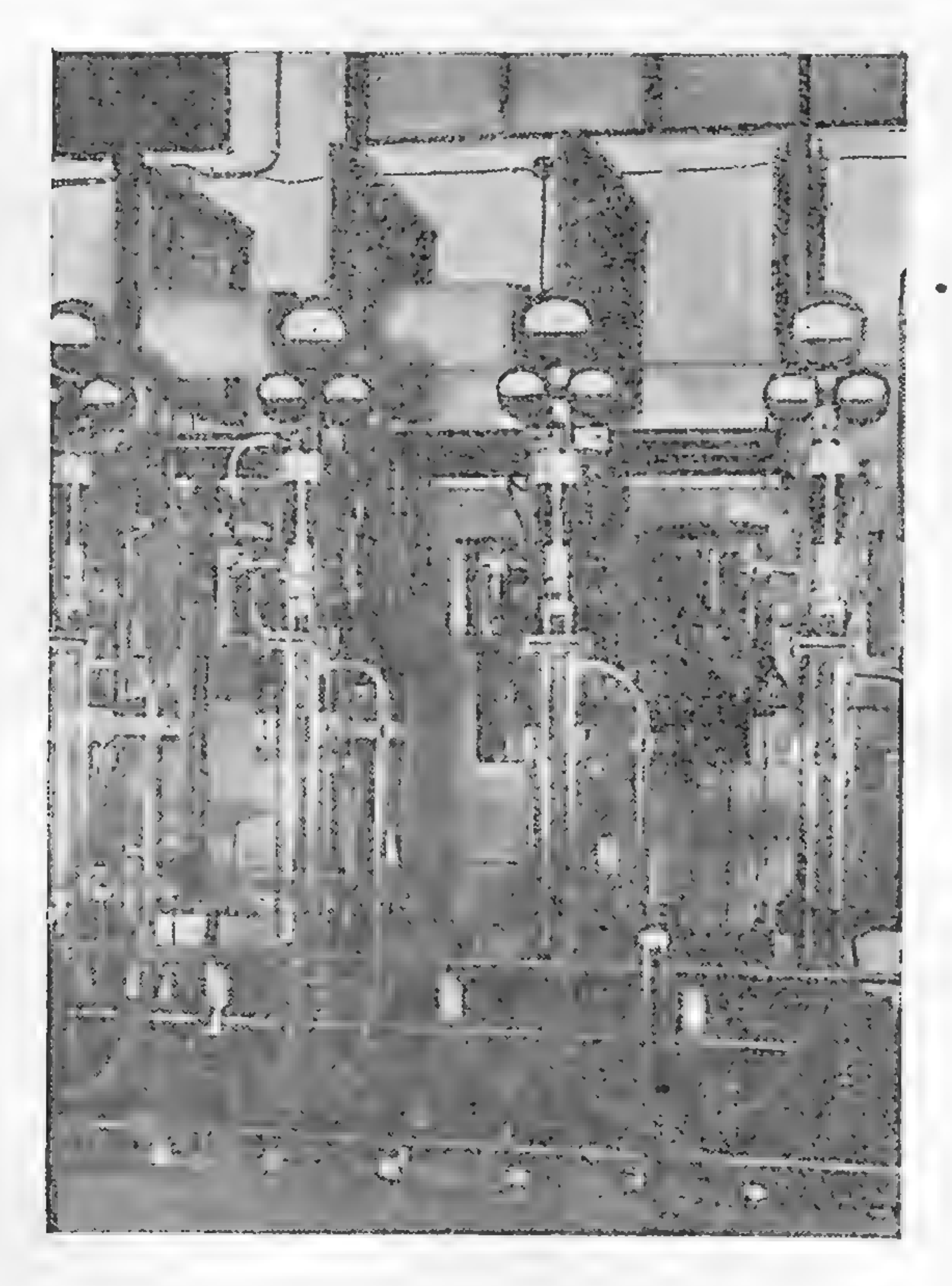


Рис. 11. 400-киловаттный генератор ЦБПЗ опытного типа.

тированных молекул. Наконец, третьим процессом в диэлектрике будет образование объёмных зарядов. Этот процесс самый медленный, так как объёмные заряды образуются вследствие продвижения (переноса) тяжёлых, громоздких ионов, двигающихся в вязкой среде.

Каждый из трёх названных процессов связан с поглощением диэлектриком энергии. Первый имеет максимум по-

глощения в области инфракрасных волн, второй — в области от ультракоротких и до длинных радиоволн и третий — в области высоких звуковых частот. Границы этих областей могут быть указаны лишь ориентировочно и могут перекрывать друг друга.

Вообще же поглощение диэлектриком энергии происхо-

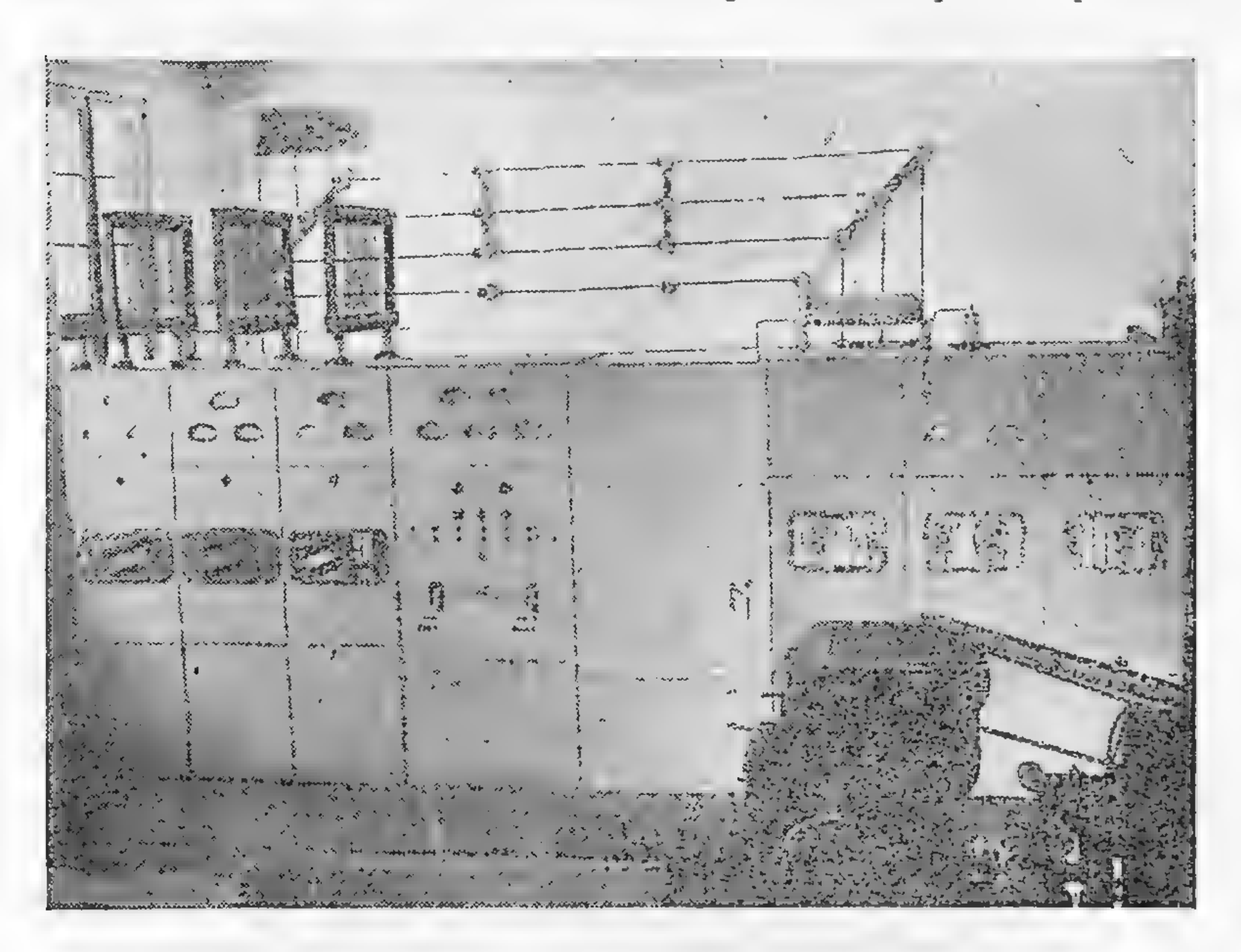


Рис. 12. 300-киловаттный генератор ЦБПЗ закрытого типа.

дит тем сильнее, чем сложнее структура материала диэлектрика и больше его неоднородность.

Как при нагреве электрическим током, так и при нагреве электрическим напряжением максимум поглощения определяется соотношением

$$\varepsilon / \rho = 2\ (9 \cdot 10^{11}),$$

которое объясняет избирательный нагрев. Одни вещества в электрическом поле нагреваются сильно в то время как другие остаются холодными; например, можно сварить яйцо в куске льда, накалить угольный порошок в холод-

ном тигле, сделанном из сплошного куска того же угля, и т. д.

Нагрев электрическим напряжением можно использовать для быстрой сушки или прогрева древесины, табаков, текстиля, фибры, бумаги, хлопка, шерсти, керамики, глины, карборундов, всевозможных пластмасс, при конвейерном производстве консервов, при вулканизации резины и т. д. Интересно отметить, что даже в такой, веками освящённой области применения термических печей, как выпечка хлеба, высокочастотный нагрев согласно расчётам оказывается тоже вне конкуренции, давая экономию в топливе до 50%. Наконец, исключительно выгодное применение этот способ нагрева должен найти в химических производствах.

Метод нагрева электрическим напряжением наиболее широкий индустриальный размах получил в лесной и фанерной промышленности в Америке. При использовании такого метода процессы, ранее требовавшие на своё завершение часы, заканчиваются в течение нескольких минут, а поверхности не подвергаются опасности пересушки или ожогов. Клея, формовочных и цементирующих средств требуется не больше, а часто и много меньше, чем при других способах. Ограничение размеров нагреваемых тел, вызывавшееся плохой теплопроводностью материала, в данном случае не имеет места, поскольку материал греется по всей своей толще одновременно.

Этот вид нагрева позволил выработать и наладить производство новых прекрасных технических материалов, в основе которых лежит прессованная древесина, пропитанная компаундами. Высокие механические качества, получившиеся вследствие расположения волокон по всем направлениям (что в природе встречается только в костях животных, благодаря чему они являются очень прочными), устойчивость поверхности к истиранию, коррозии и набуханию, высокая поверхностная твёрдость, как у стекла, лёгкий вес и лёгкость обработки привели к тому, что американцы считают этот материал чудом текущего столетия. Такой материал даже начинает вытеснять металл, так как он крепче металла, работает лучше и дольше его, а стоит дешевле. Области применения нового материала многообразны — из него изготовляют аэропланные конструкции, пропеллеры бомбовозов и истребителей, зубчатые колёса, вен-

тиляторы для сырых помещений, лодки, кузова, фурнитуру, изоляторы и т. п.

Таковы в общих чертах основы и перспективы промышленного применения высокочастотного нагрева. Несмотря на то, что использование его в широких масштабах началось сравнительно недавно, несомненно недалеко то время, когда он займёт в индустрии подобающее место и вызовет к жизни много новых производств.

Канд. техн. наук С. И. НАДЕНЕНКО

ТЕХНИКА ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ В МЕДИЦИНЕ И БИОЛОГИИ

В апреле—мае 1891 г., ровно за 4 года до изобретения радио А. С. Поповым, д'Арсонваль в Париже и Тесла в Нью-Йорке демонстрировали прохождение токов высокой частоты через тело человека. Таким образом, электротехника высокой частоты вошла в медицину несколько раньше, чем в электросвязь. Непосредственно за опытами д'Арсонваля и Тесла началось интенсивное изучение влияния токов и полей высокой частоты на биологические объекты и применение некоторых свойств этих полей и токов для медицинских целей. Препятствиями, мешавшими использованию токов высокой частоты, являлись недостаточная изученность нового источника и бедная техническая база, которой располагала медицина в те времена. Только после открытия радио А. С. Поповым весь комплекс технических средств, который в настоящее время объединяется термином «радиотехника», получает чрезвычайно быстрое развитие.

На базе непрерывного развития радиосвязи совершенствуются генераторы высокой частоты, осваивается весь спектр частот электромагнитных колебаний от волн в 0,75 *см* до волн в 30 000 *м*, изучается поведение материалов в полях высокой и ультравысокой частот, разрабатываются способы и аппаратура колоссального усиления токов всех частот, создаётся специальная измерительная аппаратура и методика измерений. В руки исследователей поступает

новый прибор — электронная лампа, получившая самое широкое применение в различных областях науки, техники и быта.

Биологи, врачи и физиологи, изучавшие влияние электрических явлений на живые организмы и ткани, распространяют свои исследования на область высоких частот. Проходит длительный период накопления опытного материала и уточнения механизма действия полей высокой частоты на живой организм, ставятся клинические исследования действия этих полей на физиологические и патологические процессы в организме человека и обрисовывается область возможного применения высокочастотных колебаний в медицинской практике.

В клиниках устанавливается, что в лечении ряда заболеваний должно быть отдано предпочтение высокочастотной терапии перед лекарственными, хирургическими или другими физиотерапевтическими методами воздействия. Во многих лечебных учреждениях появляется высокочастотная лечебная аппаратура и организуются специальные терапевтические кабинеты.

Несмотря на то, что в течение полувека интенсивно развивалась высокочастотная терапия и накапливался фактический материал, механизм воздействия поля на живые ткани, помещённые в поле, не изучен и по настоящее время.

Бесспорным является лишь термический (тепловой) эффект поля и бактерицидное действие поля высокой частоты в отношении некоторых культур микроорганизмов. Широко обсуждается и вызывает споры вопрос об экстратермическом (не тепловом) — «специфическом» воздействии поля.

Тепло с самых древних времён является наиболее распространённым и достаточно мощным лечебным средством (грелки, компрессы). Местное нагревание при очень многих заболеваниях не только утоляет боли, но и способствует локализации болезненного процесса и его преодолению организмом.

Недостатком конвекционного нагрева является крайняя трудность, а порой и невозможность нагреть глубоколежащие ткани, главным образом, из-за терморегулирующего действия кожи. В случае использования высокочастотных токов этот недостаток не имеет места.

Хорошо известно, что диэлектрик или полупроводник, помещённый в электрическое поле, получает из этого поля некоторое количество энергии, которая расходуется на его нагрев. Характерно, что нагрев однородного диэлектрика в поле высокой частоты происходит равномерно по всему объёму. При всех иных способах нагрева (конвекционных) тепло распространяется от периферии нагреваемого тела к центру, и нагрев получается неравномерным.

Разница между обычными методами нагрева и электронагревом в поле высокой частоты особенно наглядно выявляется в случае слоистого строения тела. Вследствие различия электрофизических констант отдельных слоёв (диэлектрической постоянной, проводимости и угла потерь) температура этих слоёв при нагреве токами высокой частоты будет различной, и, скажем, глубоколежащие слои могут быть нагреты до значительно более высоких температур, чем слои поверхностные.

Высокочастотная терапия, осуществляющая нагрев глубоколежащих тканей до нужных температур, является мощным средством лечения заболеваний, не поддающихся ни терапевтическому, ни хирургическому воздействию.

Наибольшее распространение новые методы находят в лечении воспалительно-гнойных заболеваний. Поле высокой частоты оказывает эффективную помощь при лечении тяжёлых гнойных поражений костей и тканей: карбункулов, фурункулов, маститов, панариций, гаймаритов, фронтитов, мастоидитов, флегмон, остомиэлитов, периоститов, абсцессов лёгких и т. д.

Широко применяется высокочастотная терапия для лечения травм и ран. Болеутоляющее и бактерицидное действие высокочастотного поля и возможность его использования в случаях недоступности контактного применения других физических агентов (при гипсовых повязках) делают новый метод незаменимым в лечении ран, особенно инфицированных.

Свищи огнестрельных остомиэлитов после 20÷25 сеансов терапии либо полностью закрываются, либо отграничиваются.

Поле высокой частоты позволяет также лечить отморожения различных степеней. При отморожении I степени достигается быстрое прекращение болей, при отморожении II степени после двух сеансов прогрева полем высо-

кой частоты исчезает отёчность. При III степени отморожений влажная гангрена переводится в сухую.

Перечень заболеваний, лечение которых связано с применением полей высокой частоты, настолько обширен, что мы не имеем возможности воспроизвести его целиком, да это и не является задачей настоящего обзора.

Использование достижений радиотехники в медицине и в биологии не ограничивается применением полей высокой частоты для целей терапии. Всё большее применение находят в биологической лаборатории и в медицинской клинике усилители постоянного и низкочастотного тока, применяемые для исследования биотоков организма, записи



Рис. 1. Кривая токов сердца (электрокардиограмма).

кривых биотоков на плёнке или визуального наблюдения их на экране.

В живом организме обнаруживаются биологические токи пяти различных типов:

1) разности потенциалов постоянного тока, имеющие место во всех живых тканях и определяемые поляризацией внутренней поверхности элементарной клетки ткани, по отношению к внешней поверхности;

2) импульсы возбуждения различной формы и длительности (при механическом, электрическом или химическом возбуждении клетки деполяризуются, что сопровождается посылкой импульса);

3) волны тока полуритмичной формы, генерируемые гладкими мышцами при периодических сокращениях и расширениях (деятельность сердца, кишечная перистальтика);

4) микрофонные токи («ответ ушной раковины»), соответствующие по величине и частоте звуковому раздражению;

5) незатухающие ритмичные волны, сопровождающие функцию центральной нервной системы (мозга).

Найдено три типа волн мозга: α-волны частотой $8 \div 12$ *гц* с амплитудой $10 \div 120$ *мкв*, β-волны частотой

18 ÷ 30 *гц* с амплитудой 10 ÷ 20 *мкв* и Δ - волны частотой 1 ÷ 4 *гц* с амплитудой до 200 ÷ 500 *мкв*.

Развитие усилительной техники позволяет фиксировать на фотобумаге биотоки сердца — электрокардиограммы (рис. 1) и биотоки мозга — энцефалограммы (рис. 2), которые в руках специалиста являются документом, облегчающим диагностику заболевания.

В литературе имеются указания на то, что растущая раковая опухоль генерирует импульсы определённой ча-

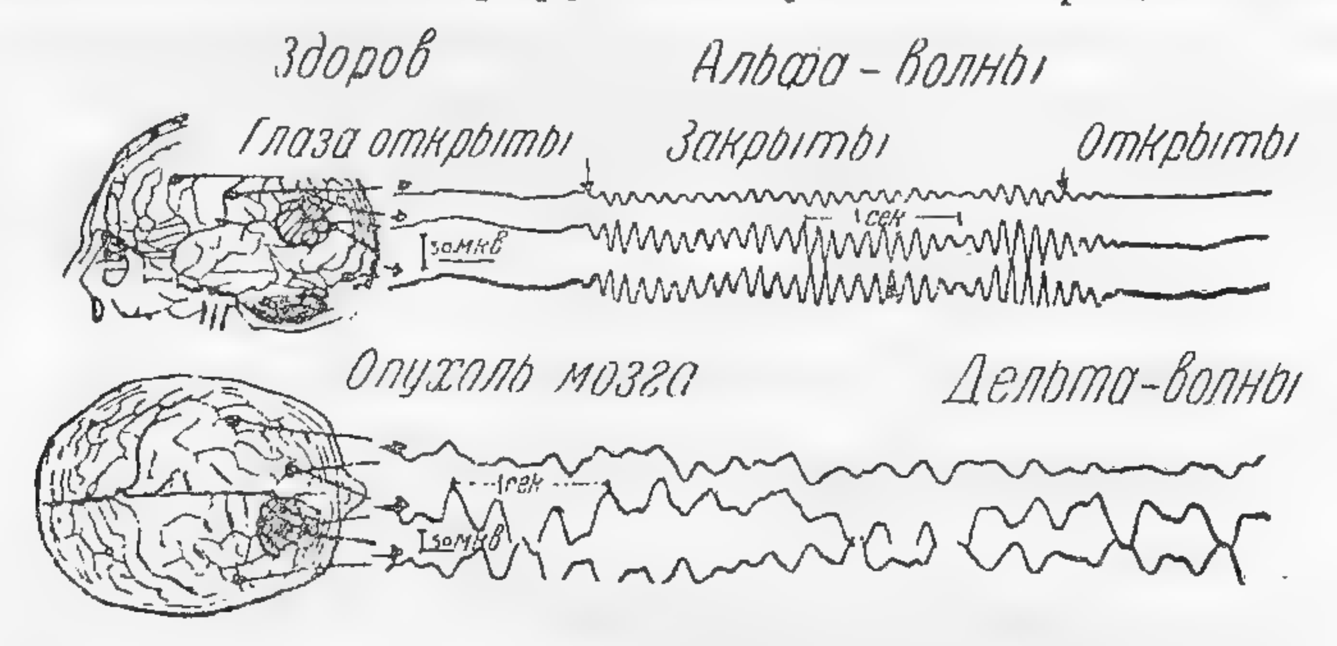
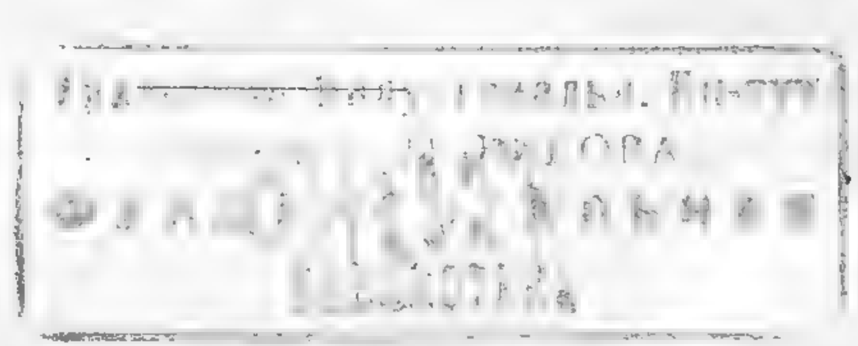


Рис. 2. Кривые токов мозга здорового и больного человека (энцефалограммы).

стоты. Возможность обнаружения этих импульсов имеет, естественно, громаднейшее значение для ранней диагностики рака.

В заключение необходимо упомянуть электронный микроскоп, осуществление которого стало возможным в результате развития электроники. Обычный микроскоп в лучах видимого света даёт увеличение до 1500 раз, в лучах ультрафиолетовых до 3000 раз. Электронный микроскоп позволяет получить увеличение до 30 000 раз, а с последующим фотоувеличением до 100 000 раз. Использование этих возможностей в медицине и в бактериологии открывает новые, громаднейшие перспективы прогресса науки.

Большие перспективы открывает также применение сантиметровых волн, освоение которых сейчас интенсивно происходит.



ОСНОВНЫЕ КНИГИ ПО ВОПРОСАМ РАДИО,

выпущенные Связьиздатом за последние годы

1. А. Д. Фортушенко. 50 лет радио. 1945.
2. Г. И. Головин. А. С. Попов — изобретатель радио. 1945.
3. П. Н. Рыбкин. Десять лет с изобретателем радио. 1945.
4. Б. П. Асеев. Колебательные цепи. 1938.
5. Б. П. Асеев. Основы нелинейной радиотехники. 1943.
6. Б. П. Асеев. Четырёхполюсники. 1944.
7. М. А. Бонч-Бруевич. Основы радиотехники. 1938.
8. М. А. Бонч-Бруевич. Элементы радиотехники. 1938.
9. Нелинейные системы. Сборник статей под редакцией академика М. В. Шулейкина. 1939.
10. М. В. Амалицкий. Основы радиотехники. 1940.
11. В. Ф. Власов. Электровакуумные приборы. 1943.
12. А. А. Шапошников. Электронные и ионные приборы. 1938.
13. Л. Б. Слепян. Преобразование частоты и преобразовательные лампы. 1939.
14. Н. И. Чистяков. Резонансные усилители и предварительные селекторы. 1939.
15. В. И. Сифоров. Радиоприёмные устройства. 1939.
16. А. А. Колосов. Основы расчёта радиоприёмников прямого усиления. 1937.
17. Г. К. Серапин. Автоматические регулировки в радиоприёмниках. 1938.
18. Г. К. Серапин. Супергетеродины. 1937.
19. Е. Г. Момот. Испытание радиоприёмников. 1938.
20. А. А. Колосов. Качественные показатели радиовещательных приёмников. 1938.
21. Г. С. Цыкин. Трансформаторы низкой частоты. 1937.
22. Г. В. Войшвилло. Усилители низкой частоты. 1939.
23. З. И. Модель и И. Х. Невяжский. Курс радиопередатчиков. ч. 1, 1938, ч. II, 1940.
24. М. С. Нейман. Стабилизация частоты в радиотехнике. 1937.
25. Современные способы повышения кпд радиовещательных передатчиков. Сборник переводных статей под редакцией Н. М. Санкина. 1940.
26. Л. А. Копытин. Передающие радиоцентры. 1939.
27. П. А. Остряков. Водоохлаждающие устройства мощных радиостанций. 1937.
28. Электрический расчёт антенн. Сборник статей. 1937.
29. А. А. Пистолькорс. Приёмные антенны. 1937.
30. А. Н. Щукин. Распространение радиоволн. 1940.

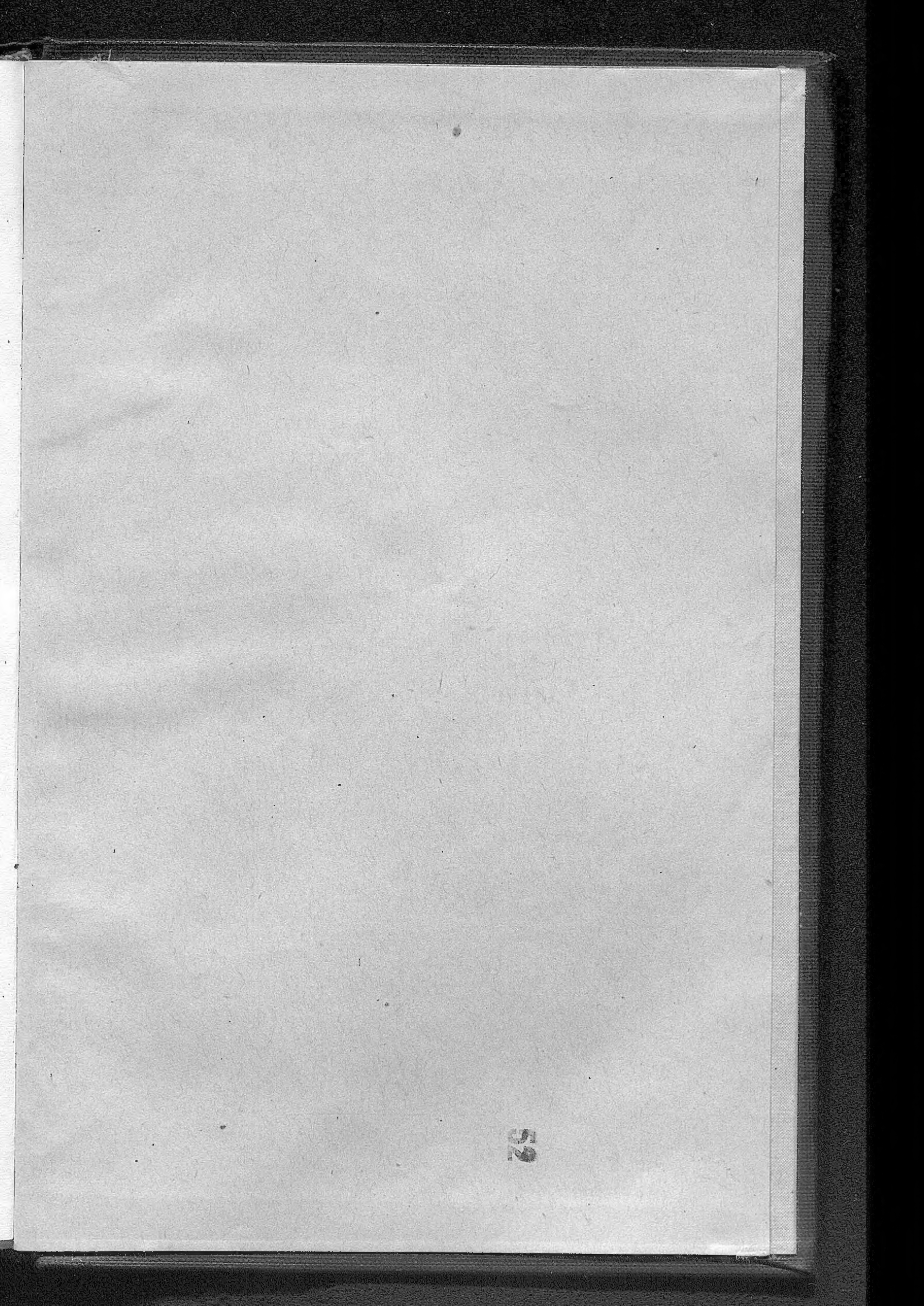
31. А. Н. Щукин. Физические основы распространения радиоволн в ионосфере. 1940.
32. М. П. Долуханов. Введение в проектирование и эксплоатацию коротковолновых линий радиосвязи. 1941.
33. Б. А. Введенский и А. Г. Аренберг. Распространение ультракоротких радиоволн. 1938.
34. В. И. Калинин. Дециметровые и сантиметровые волны. 1939.
35. С. Н. Кокурин. Релаксационные колебания. 1938.
36. А. Я. Брейтбарт. Основы телевидения и фототелеграфии. 1938.
37. Основы телевидения. Под редакцией С. И. Катаева. 1940.
38. И. Г. Дрейзен. Курс электроакустики, ч. I, 1938, ч. II, 1940.
39. А. А. Харкевич. Теория электроакустических аппаратов. 1940.
40. А. В. Рабинович и Ю. М. Сухаревский. Радиовещательные студии и микрофоны. 1939.
41. В. А. Нюренберг. Техника радиовещания. 1938.
42. И. Е. Горон. Радиовещание. 1944.
43. С. Н. Кризе. Оборудование проволочных и радиовещательных узлов. 1938.
44. М. С. Орлов. Электрический расчёт трансляционных сетей вещания. 1944.
45. В. Н. Догадин. Трансляционные сети вещания. 1942.
46. И. А. Цыпленков. Оборудование радиотехнических узлов. 1941.
47. Радиобюро и линии радиосвязи. Под редакцией А. С. Николаенко и А. Н. Попова. 1940.
48. И. В. Басик. Переходные устройства для комбинированных радиопроводных связей. 1938.
49. П. Н. Куксенко. Автоматическая радиотелеграфия. 1939.
50. А. В. Панов. Электрические фильтры в радиоустановках. 1939.
51. М. А. Спицын. Выпрямители. 1938.
52. М. А. Спицын. Ионные управляемые выпрямители и их применение в радиотехнике. 1938.
53. Б. П. Терентьев. Выпрямители для радиоустройств. 1938.
54. В. В. Ширков. Курс основных радиотехнических измерений. 1940.
55. С. А. Бажанов. Радиолюбительские измерения. 1941.
56. Г. С. Цыкин. Отрицательная обратная связь и её применение. 1940.
57. Р. М. Малинин. Увеличение мощности проводных вещательных узлов. 1941.
58. Р. М. Малинин. Радиоаппаратура, ч. I, 1938, ч. III, 1941.
59. Г. Г. Гинкин. Расчётный справочник по радиотехнике. 1937.

СОДЕРЖАНИЕ

Редактор *Б. С. Григорьев*
Техн. редактор *Л. Б. Вейнтрауб*

Л 49663. Сдано в производство 16/III 1945 года. Подписано к печати 29/IV 1945 года. Печ. листов 24. Авт. листов 20. Тираж 10 000.
Заказ 950. Цена 25 руб.

3-я Типография «Красный пролетарий» треста «Полиграфкнига» ОГИЗа при СНК РСФСР. Москва, Краснопролетарская, 16.


52




200
10/12

